



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

Nota Técnica nº 394

ACUIFERO COSTERO DE CASTELL DE
FERRO. SINTESIS DE ESTUDIOS REA-
LIZADOS, SITUACION ACTUAL Y PERS
PECTIVAS FUTURAS.



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

30678

SUPER PROYECTO	AGUAS SUBTERRANEAS		Nº	9005
PROYECTO AGREGADO	ASESORAMIENTO A ORGANISMOS DE CUENCA Y COMUNIDADES AUTONOMAS		Nº	335
TITULO PROYECTO				
PROYECTO PARA APOYO A LAS ADMINISTRACIONES PUBLICAS EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRANEAS EN LA CUENCA SUR (ANDALUCIA)				
Nº PLANIFICACION		Nº DIVISION AGUAS, G.A.		
FECHA EJECUCION	INICIO	1.989	FINALIZACION	1.992

INFORME (Titulo):	
ACUIFERO COSTERO DE CASTELL DE FERRO. SINTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS, SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS Y APOYO AL PLAN HIDROLOGICO.	
CUENCA (S) HIDROGRAFICA (S)	SUR
COMUNIDAD (S) AUTONOMA (S)	ANDALUCIA
PROVINCIA (S)	GRANADA

I N D I C E
=====

	<u>Pág.</u>
1.- GENERALIDADES.....	1
2.- CARACTERISTICAS GEOLOGICAS.....	2
3.- CLIMATOLOGIA.....	4
3.1.- PLUVIOMETRIA.....	4
3.2.- TEMPERATURA.....	5
3.3.- EVAPOTRANSPIRACION.....	7
4.- HIDROLOGIA SUPERFICIAL.....	10
4.1.- CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LAS CUENCAS DE LAS RAMBLAS ANCHA Y DE GUALCHOS.....	10
4.2.- APORTACIONES DE LA CUENCA.....	11
5.- HIDROGEOLOGIA.....	11
5.1.- CARACTERISTICAS SEDIMENTOLOGICAS Y GEOMETRICAS....	11
5.2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	12
5.3.- USO Y EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA.....	14
5.4.- PARAMETROS HIDRAULICOS.....	16
5.5.- PIEZOMETRIA.....	16
5.6.- BALANCE HIDRAULICO.....	31
5.7.- CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS. EVOLUCION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.....	31
5.8.- INTRUSION MARINA.....	38
5.9.- DISCUSION SOBRE LAS POSIBILIDADES DE ACTUACION....	42
6.- RESUMEN.....	44
7.- BIBLIOGRAFIA.....	45

1.- GENERALIDADES

El sistema acuífero formado por los depósitos aluviales de la Rambla de Gualchos y la Rambla Ancha, está situado al Sur de la provincia de Granada, en el sector costero, próximo a las localidades de Gualchos y Castell de Ferro (Figura 1).

Este acuífero ha sido estudiado en detalle por E. TERRON (1983) como objetivo de su tesis de licenciatura, habiendo tomado de ella la mayor parte de los datos que se resumen en este capítulo.

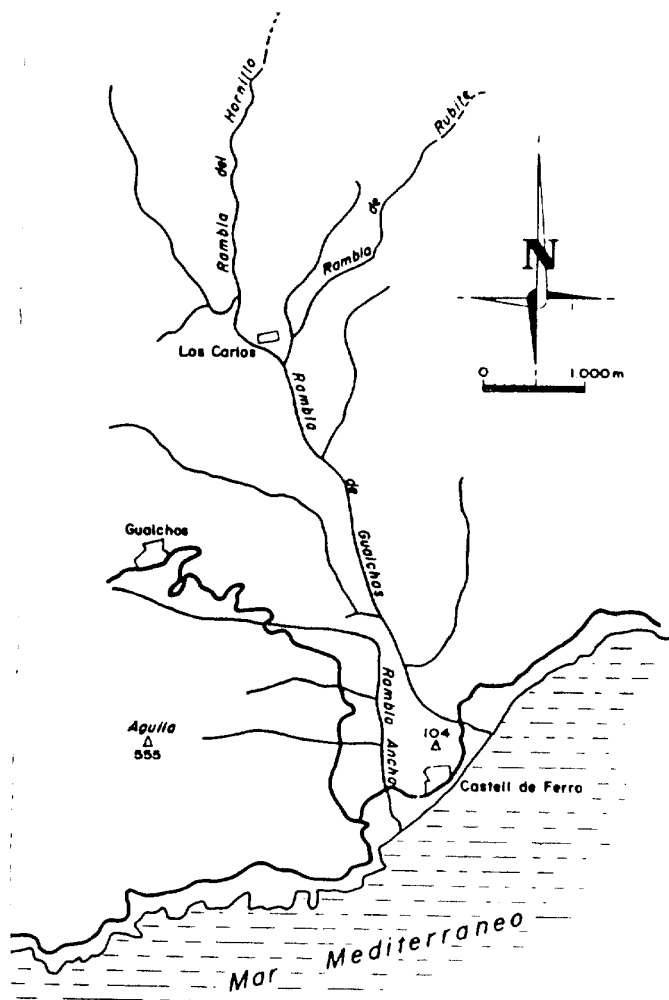


Figura 1: Localización geográfica.

El acuífero aluvial ocupa una extensión de 3 Km², dentro de los 80 Km² que comprende su cuenca vertiente.

La población, según el censo de 1981, es de 2393 habitantes, estando distribuida en los núcleos de: Castell de Ferro (49%), Los Pastores (27%), Gualchos (23%) y Jolúcar (1%). Comparado con el censo de 1900 (3000 habitantes), se aprecia un abandono de las zonas del interior y un incremento de población en el sector costero, con un desarrollo de la agricultura y la industria hotelera, favorecidas por un clima más benigno y unas mejores comunicaciones.

En época veraniega, el número de habitantes de la zona se incrementa apreciablemente como consecuencia del turismo.

La economía de esta zona se centra fundamentalmente en el sector primario: ganadería, agricultura y pesca. Dentro de este sector, merece destacar la agricultura que, en los últimos tiempos, ha sufrido un incremento en las zonas costeras gracias a los cultivos de regadío (enarenados), de gran rentabilidad. De las 3010 Has. del término municipal, se cultivan el 35% por lo accidentado del terreno y, de éstas, el 22,7% son de regadío. La pesca no está muy desarrollada por falta de recursos financieros.

2.- CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

La mayor parte de los materiales que forman el acuífero de Castell de Ferro son aluviales, constituidos fundamentalmente por arenas y gravas, con alternancias de arcillas y margas. Existen también depósitos de piedemonte formando conos de deyección, relacionados a los relieves carbonatados que afloran en las proximidades de Castell de Ferro. Localmente, y coincidiendo con antiguos lechos de la rambla, afloran niveles de cantos cementados por carbonatos, que, generalmente, quedan colgados sobre el actual cauce.

El substrato sobre el que se apoyan los materiales detríticos que constituye el acuífero de Gualchos, también denominado de Castell de Ferro, es el manto de Murtas, perteneciente al complejo alpujárride.

El manto de Murtas está compuesto de muro a techo por un primer tramo de cuarzoesquistos, que gradualmente evoluciona a una alternancia de cuarcitas, esquistos y anfibolitas, y, finalmente, un conjunto carbonatado constituido por mármoles (Figura 2).

La longitud de los depósitos aluviales en el área en que éstos adquieren mayor desarrollo es de unos 5 Km, y su anchura máxima es de 1 Km en el sector central al norte de Castell de Ferro.

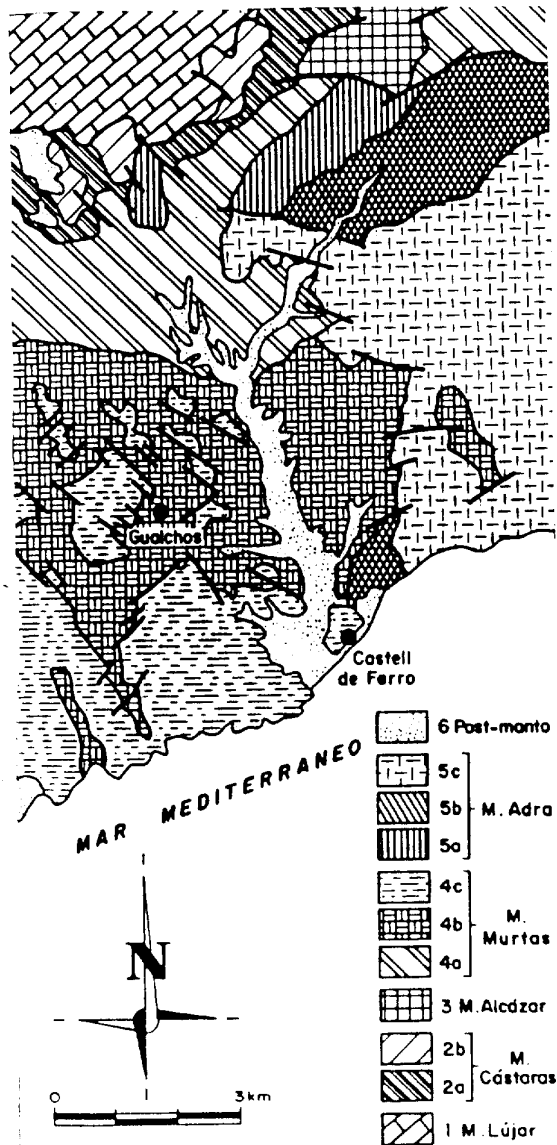


Figura 2: Entorno geológico del acuífero de Castell de Ferro. 1: Carbonatos; 2a: esquistos, filitas y cuarcitas; 2b: carbonatos; 3: filitas; 4a: cuarzo esquistos; 4b: cuarcitas, esquistos y filitas; 4c: marmoles; 5a: esquistos con sillimanita; 5b: micaesquistos con granate; 5c: esquistos con biotita y andalucita; 6: depósitos recientes. (Simplificado de Cuevas, 1990) (Fuente: M.L. CALVACHE, 1991).

3.- CLIMATOLOGIA

La síntesis de datos climatológicos que se exponen a continuación han sido extraídos fundamentalmente de la tesis doctoral de BENAVENTE (1982) y, especialmente, de la tesis de licenciatura de E. TERRON (1983), completada con los datos existentes en el "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª, 2ª y 3ª fase)", IGME.

3.1.- PLUVIOMETRIA

Las principales características de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio y que se han utilizado para la elaboración de los datos de climatología, se exponen en el Cuadro I.

Los datos están referidos al periodo 1955-56/1979-80.

NOMBRE	LONGITUD	COORDENADAS		ALTITUD	PRECIPITACIONES CARACTERISTICAS (mm)			DATOS
		LATITUD			MEDIA	AÑO SECO (1980/81)	AÑO HUMEDO (1988/89)	
Sierra de Lujar	0°17'10"	38°49'20"		1842	685	453	1105	PT
Haza del Lino	0°22'40"	38°48'50"		1240	609	286	895	P
Vélez Benaudalla	0°10'30"	38°50'50"		130	508	304	728	P
Cabo Sacratif	0°13'10"	38°41'40"		80	387	277	499	P
La Mamola	0°24'30"	38°44'45"		10	358	191	617	P

Cuadro I: Características de las estaciones pluviométricas utilizadas.

En la Figura 3 se presenta un plano de isoyetas medias para el periodo considerado.

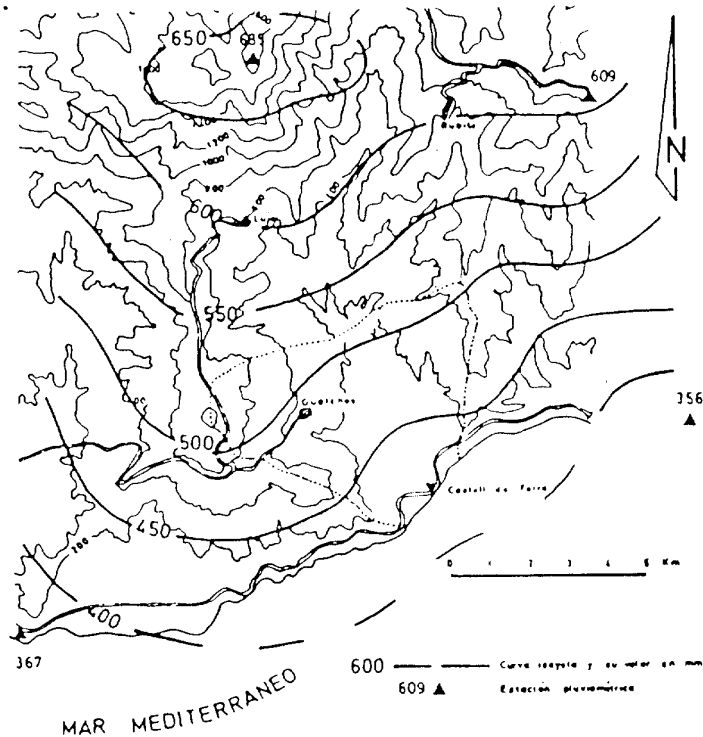


Figura 3: Isoyetas medias del periodo 1955/56-1979/80. (Fuente: E. TERRON, 1983).

De dicho plano se deduce una pluviometría media para la cuenca vertiente a la rambla de Gualchos de 475 mm, equivalente a 12 hm³ (E. TERRON, 1983). Hay que tener en cuenta que en el cálculo de la media se ha excluido la zona de cabecera de la cuenca, por lo que la media total debe considerarse comprendida entre 500 y 600 mm/año.

En la Figura 4 se muestra la distribución mensual de las precipitaciones medias (cantidad e intensidad) de las estaciones más próximas a la cuenca de la rambla de Gualchos.

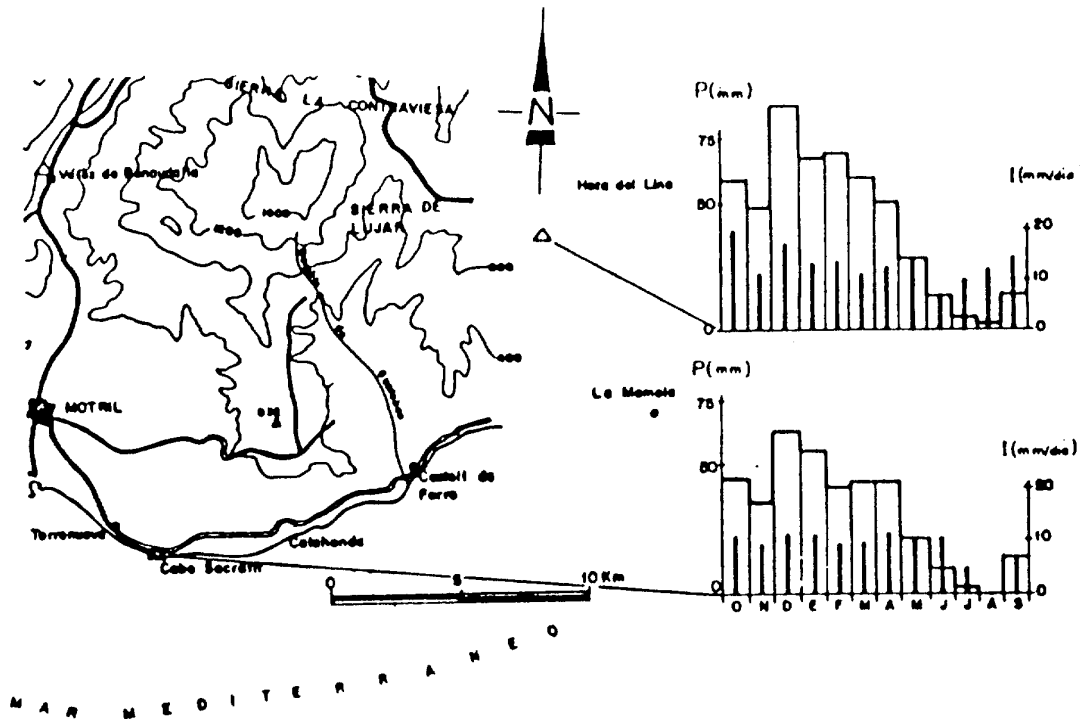


Figura 4: Distribución mensual de las precipitaciones y su intensidad (1955/56-1979/80). (BENAVENTE, 1982) (fuente: E. TERRON, 1983).

La estación de Haza de Lino presenta un máximo cercano a los 90 mm en el mes de Diciembre, y un mínimo inferior a 5 mm en el mes de Agosto.

La estación de Cabo Sacratif refleja un comportamiento similar, aunque con valores de precipitación netamente más bajos.

En los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril, las precipitaciones tienen lugar en forma de tormentas, en intervalos de tiempos reducidos, mientras que en los meses de Mayo y Septiembre, lluvia e intensidad de lluvia están homogéneamente repartidas, son más prolongadas pero de menor intensidad.

3.2.- TEMPERATURA

Sólo existen dos estaciones termométricas localizadas en las cercanías de la cuenca estudiada, Sierra de Lújar y Salobreña (80 m de altitud). Esta última se encuentra a 21 Km al Oeste, aunque sus características termométricas deben presentar similitud a las de Castell de Ferro.

En la Sierra de Lújar las temperaturas máximas medias no sobrepasan los 25° C,

mientras que las mínimas suelen ser inferiores a los 0° C. Las temperaturas medias mensuales oscilan entre los 2,3° C de Diciembre y los 19,4° C de Agosto, con un valor medio anual de 9,1° C.

En la estación de Salobreña las temperaturas son netamente más altas, pero el comportamiento térmico es similar, los máximos coinciden con los meses de Julio y Agosto, y los mínimos con los de Diciembre y Enero.

Las temperaturas máximas medias raramente sobrepasan los 30° C en Salobreña, y las mínimas están generalmente por encima de los 7° C.

Las temperaturas medias mensuales oscilan entre los 11,8° C de Diciembre y Enero, y los 24° C de Agosto, con un valor medio anual de 16,8° C.

En la Figura 5 se presenta un plano de isotermas medias anuales realizado por BENAVENTE en 1982.

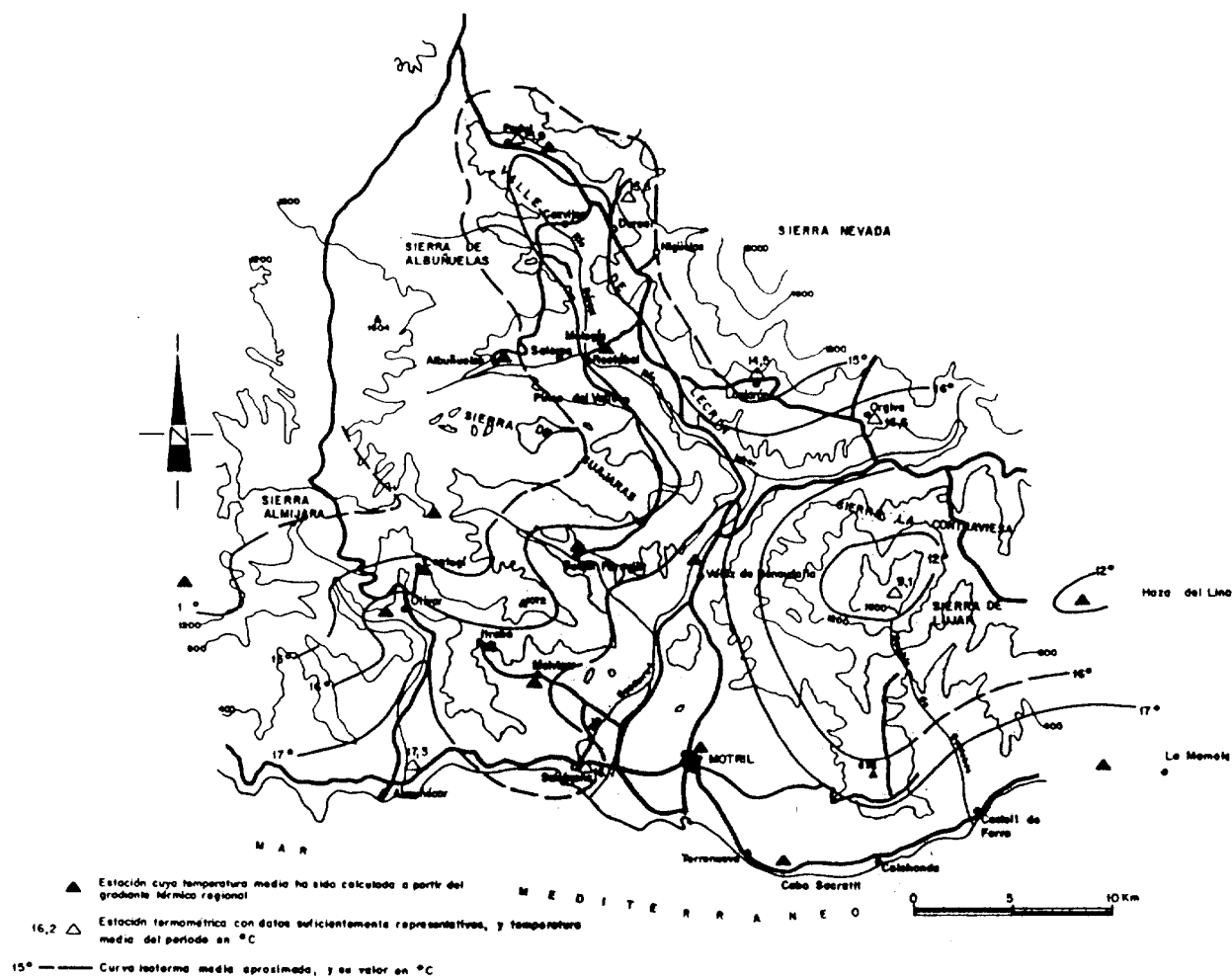


Figura 5: Isotermas medias anuales (1960/61-1976/80). (Fuente: BENAVENTE, 1982).

3.3.- EVAPOTRANSPIRACION

3.3.1.- Evapotranspiración potencial (ETP)

En la Figura 6 se muestra un plano con la distribución de la ETP anual media. Para la elaboración de este plano se han tomado valores calculados por el método de Thornthwaite que se basan en datos de nueve estaciones termopluviométricas, ninguna de ellas está dentro de la cuenca que ocupa este estudio.

E. TERRON en 1983, calculó para la zona, por el método de Thornthwaite, una evapotranspiración de 830 mm a partir de los datos termométricos de la estación de Salobreña y los pluviométricos de la de Cabo Sacratif.

3.3.2.- Evapotranspiración real (ETR)

E.TERRON en 1983, calculó la ETR media anual por los métodos de Thornthwaite (1498), Coutagne (1954) y Turc (1955) para la estación de Cabo Sacratif, utilizando las temperaturas de Salobreña. En el Cuadro II se exponen los valores que obtuvo.

	ETR(mm)	% P(mm)
THORNTWAITE	378	86
COUTAGNE	380	86
TURC	417	95

Cuadro II: Valores de ETR mdia del área segun los distintos métodos y su % de la precipitación (fuente: E. TERRON, 1983).

En la Figura 7 se representa gráficamente el balance hídrico para los valores de 25, 50 y 75 mm, como reserva de agua utilizable por las plantas. Estos balances fueron calculados por E. TERRON (1983) de ETP y de ETR mensuales calculadas por Thornthwaite, y de las precipitaciones medias mensuales para las precipitaciones de la estación de Cabo Sacratif y las temperaturas de la estación de Salobreña.

3.3.3.- Lluvia útil

En el "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes(3ª fase) (nota técnica nº 353)", IGME, 1989, se calcula la lluvia útil por el método de Thornthwaite en las estaciones de Salobreña y La Mamola cercanas al área de estudio. El método empleado permite determinar, mediante la aplicación de un programa de cálculo automático, los valores de la lluvia útil diaria y distribuirla entre sus componentes (infiltración y escorrentía) de acuerdo con una ley empírica que se ha comprobado que es válida en diversas áreas. Los cálculos se han llevado a cabo partiendo de supuestos de reserva útil del suelo ("C. de campo") de 0, 25, 50,75 y 100 mm.

Como datos de base para los cálculos correspondientes a cada estación meteorológica se ha partido siempre de las precipitaciones media en la propia estación. Los valores de temperatura utilizados son tambien los de la propia estación cuando está dotada de termómetro.

En la estación de Salobreña se llevó a cabo el cálculo para el periodo de 1964-65 a 1987-88. Para la estación de La Mamola el periodo fue el mismo pero faltan los años 1976-77,77-78,79-80,82-83 y 87-88 y se utilizaron la temperatura media de salobreña.

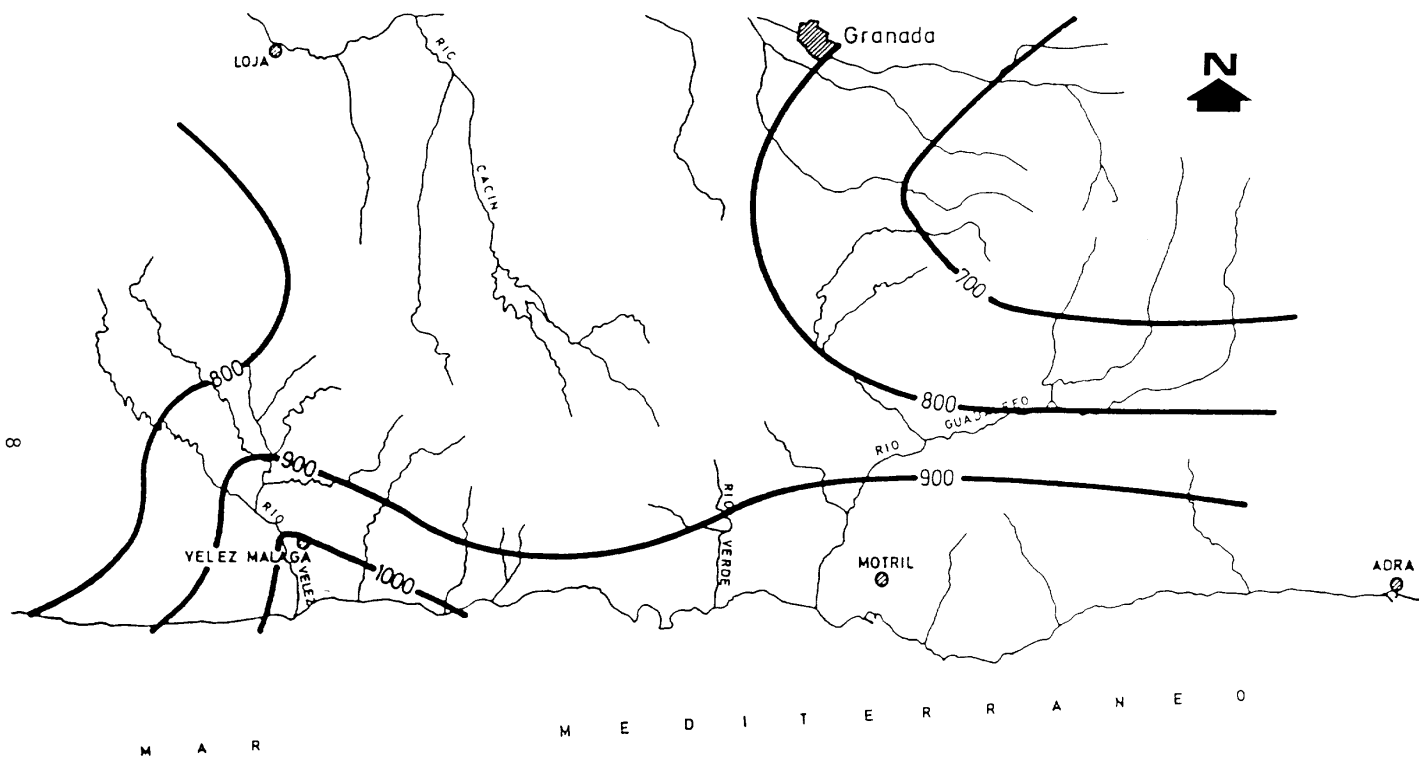


Figura 6: *Isolíneas de evapotranspiración potencial (mm/año).*

Escala 1:500 000

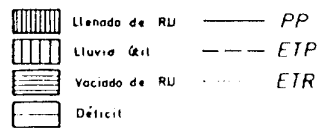
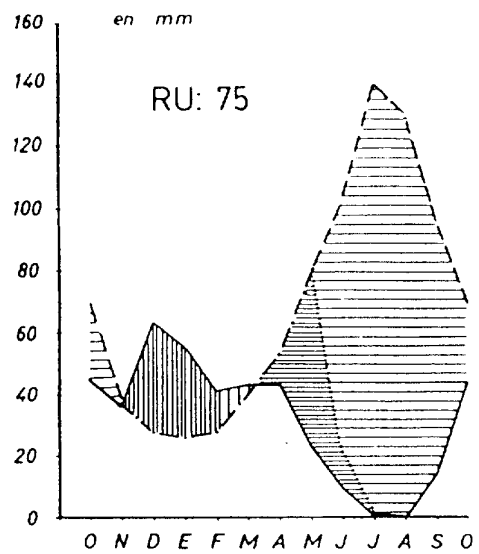
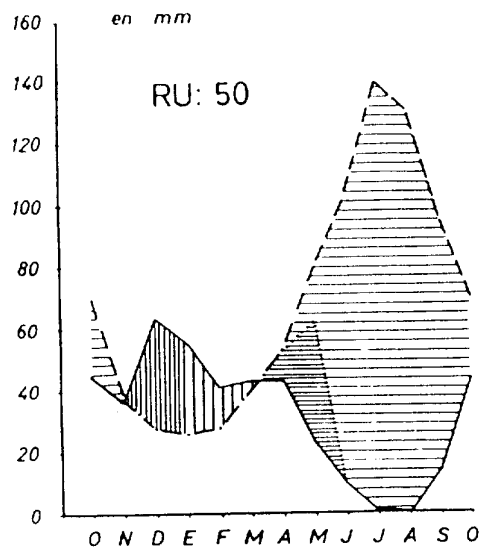
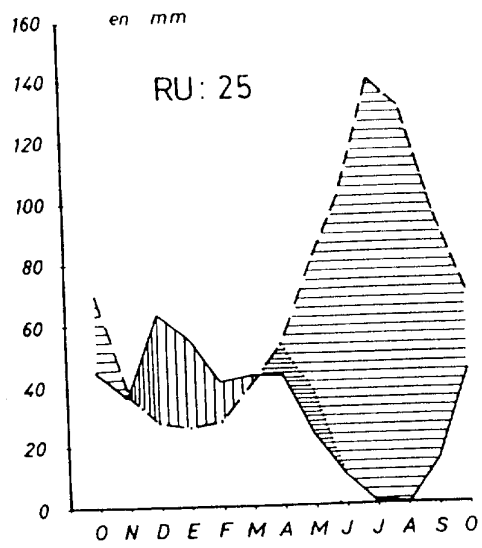


Figura 7: Balance hídrico para valores de reserva útil de 25,50 y 75 mm.

Las medias obtenidas para ambas estaciones de Lluvia útil (LU), Infiltración (INF) y Escorrentía (ESC), se exponen en el Cuadro III.

	RU = 25			RU = 50			RU = 75			RU = 100		
	LU	INF	ESC	LU	INF	ESC	LU	INF	ESC	LU	INF	ESC
SALOBREÑA	222.3	145.9	76.4	178.7	115.1	63.6	152.2	96.2	56	131	80.7	50.3
1964-65/87-88												
LA MAMOLA	133.8	95.5	38.3	94.3	66.8	27.5	70.9	50.1	20.8	50.8	35.1	15.7
1964-65/86-87(1)												

(1) Excepto los años 1976-77,77-78,79-80,82-83.

Cuadro III: *Valores de lluvia útil, infiltración y escorrentía (mm) para las estaciones de Salobreña y La Mamola.*

4.-HIDROLOGIA SUPERFICIAL

4.1.- CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LAS CUENCAS DE LAS RAMBLAS ANCHA Y DE GUALCHOS

El resumen de datos correspondientes a hidrología superficial expuestos en este capítulo ha sido extraído en su mayor parte de la tesis de licenciatura de E. TERRON (1983), completados con los datos existentes en el "Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª y 2ª fase)", IGME.

La escorrentía superficial, en la rambla de Gualchos, está estrechamente relacionada con la ocurrencia de precipitaciones intensas en los relieves montañosos. En verano, la escorrentía se realiza de manera subterránea a través de sus aluviones, lo que constituye un hecho extensible a las demás épocas, mientras no se hayan visto precedidas de grandes lluvias que favorezcan una escorrentía superficial.

La cuenca vertiente a la rambla de Gualchos acusa en su cabecera, sector de la Sierra de Lújar, relieves con altitudes cercanas a 1900 m.

La red de drenaje de la zona sur de la cuenca de las ramblas Ancha y de Gualchos es de tipo dendrítico. Se observan ciertos puntos de red dendrítica angular, así como un trazado más o menos paralelo de los cauces principales (más patente en el sector occidental de la cuenca), lo cual indica cierto control estructural de las directrices principales.

La red que aparece ligada a los materiales calizo-dolomíticos tiene densidad notablemente menor que en los materiales esquistosos y filíticos, y tiende a ser de tipo dendrítico paralelo, subparalelo y angular, con espacio amplio entre ramas principales, y fino en las barrancadas tributarias de tercer orden, que confluyen bajo ángulo agudo, controladas fundamentalmente por los grandes accidentes tectónicos.

La combinación de estos dos tipos de modelado, angular y dendrítico, está ligada a la diferente competencia entre los afloramientos de rocas carbonatadas y los materiales metapelíticos impermeables fácilmente alterables y erosionables, y al control que ejerce la tectónica sobre éstos.

La cuenca vertiente a las ramblas Ancha y de Gualchos tiene forma alargada, en dirección N-S, con longitud máxima de 13 Km y anchura que oscila entre 4 y 8,5 Km. No obstante, en el conjunto de la cuenca, cabe hacer una diferenciación en dos subcuencas: área de cabecera (desde la línea de crestas de la sierra de Lújar hasta Los Carlos) y tramo final (desde Los Carlos hasta la línea de costa), ambas de forma más o menos circular, y cuya unión se efectúa en Los Carlos. El valor del coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) obtenido para la subcuenca inferior (ramblas de Gualchos y Ancha) es de 1,1.

4.2.- APORTACIONES DE LA CUENCA

Las aportaciones naturales de la cuenca fueron calculadas en el Plan Hidrológico Nacional. La metodología para el cálculo consiste en establecer en las cuencas con datos de aforo pares de valores de precipitación-aportación específica, al conjunto de los cuales se ajusta una función de trasposición, que a su vez permite la estimación de aportaciones en las cuencas sin datos, como es nuestro caso. Este sistema, sin embargo, no recoge las distorsiones causadas por la presencia de aguas subterráneas.

Las aportaciones medias obtenidas para la cuenca de la rambla de Gualchos y Ancha, de 83 Km², son de 57 mm/año, equivalente a 4,7 hm³/año.

Para el coeficiente de escorrentía, se calculó un valor del 11% para el periodo medio de 1946-63.

5.-HIDROGEOLOGIA

5.1.- CARACTERISTICAS SEDIMENTOLOGICAS Y GEOMETRICAS

El sistema acuífero está constituido por materiales de origen aluvial en su mayor parte. Se extiende de Norte a Sur con una longitud aproximada de 5 km. y anchura variable entre 200 y 700 m., ocupando una superficie aproximada de 3 Km².

Los materiales aluviales comienzan a tener entidad a partir de la confluencia de las ramblas del Hornillo y de Rubite, aguas abajo del núcleo de Los Carlos, que es el punto donde el cauce pasa a denominarse rambla de Gualchos.

En la parte final, existe un drenaje superficial diferenciado (rambla Ancha y rambla de Gualchos), si bien los materiales aluviales de ambos cauces deben integrar un único conjunto permeable (BENAVENTE,1987).

El substrato en la zona septentrional está constituido por materiales metapelíticos (micaesquistos, filitas y cuarcitas, con eventuales intercalaciones de calcoesquistos y niveles de yesos).

En la zona costera, el acuífero aparece limitado al Oeste por materiales carbonatados (mármoles calizos y dolomíticos muy karstificados). Debido a su disposición geométrica, es probable que estos materiales permeables constituyan el substrato del acuífero en las inmediaciones del borde litoral, si bien se carece por el momento de datos directos que permitan pronunciarse al respecto (BENAVENTE et al,1988).

Además de los materiales aluviales, existen también depósitos de piedemonte formando conos de deyección relacionados con los relieves carbonatados, y depósitos de granulometría gruesa correspondientes a gravas de playa que jalonan el borde litoral. Localmente, y coincidiendo con antiguos lechos de la rambla, afloran niveles de cantos cementados por carbonatos que, generalmente, quedan colgados sobre el actual cauce.

La información de que se dispone de la litología detallada del acuífero proviene fundamentalmente de una campaña de nueve sondeos piezométricos efectuados por la Comisaría de Aguas del Sur de España (CASE) (Figura 8).

El mayor espesor del acuífero se cortó en el extremo final de la rambla Ancha, entre la carretera y el borde costero, donde se alcanzan 56 m. El espesor medio, de acuerdo con las citadas perforaciones, es de unos 35 m.

Parece existir, de manera general, un nivel basal con predominio de materiales limoso-arcillosos, que puede englobar grandes cantos del substrato, de hasta una decena de metros de espesor. Este nivel pasaría a tener hacia arriba mayor predominio de fracción arenosa fina. Una capa de naturaleza semejante podría integrar buena parte del techo del acuífero. Entre ambas capas parece detectarse un nivel de arenas gruesas y

medias, especialmente bien desarrollado en la proximidad del borde costero (BENAVENTE et al, 1988).

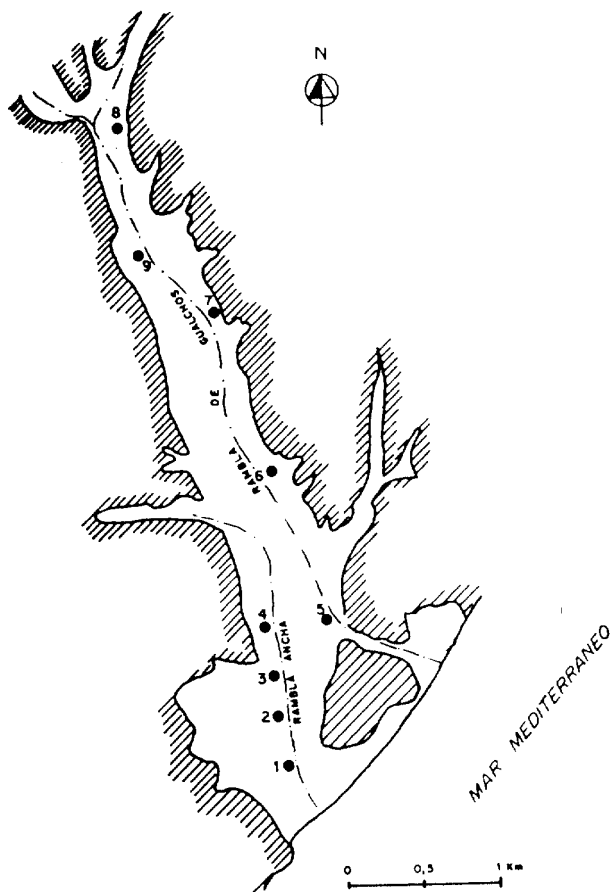


Figura 8: Situación de los piezómetros de la CASE.

5.2.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

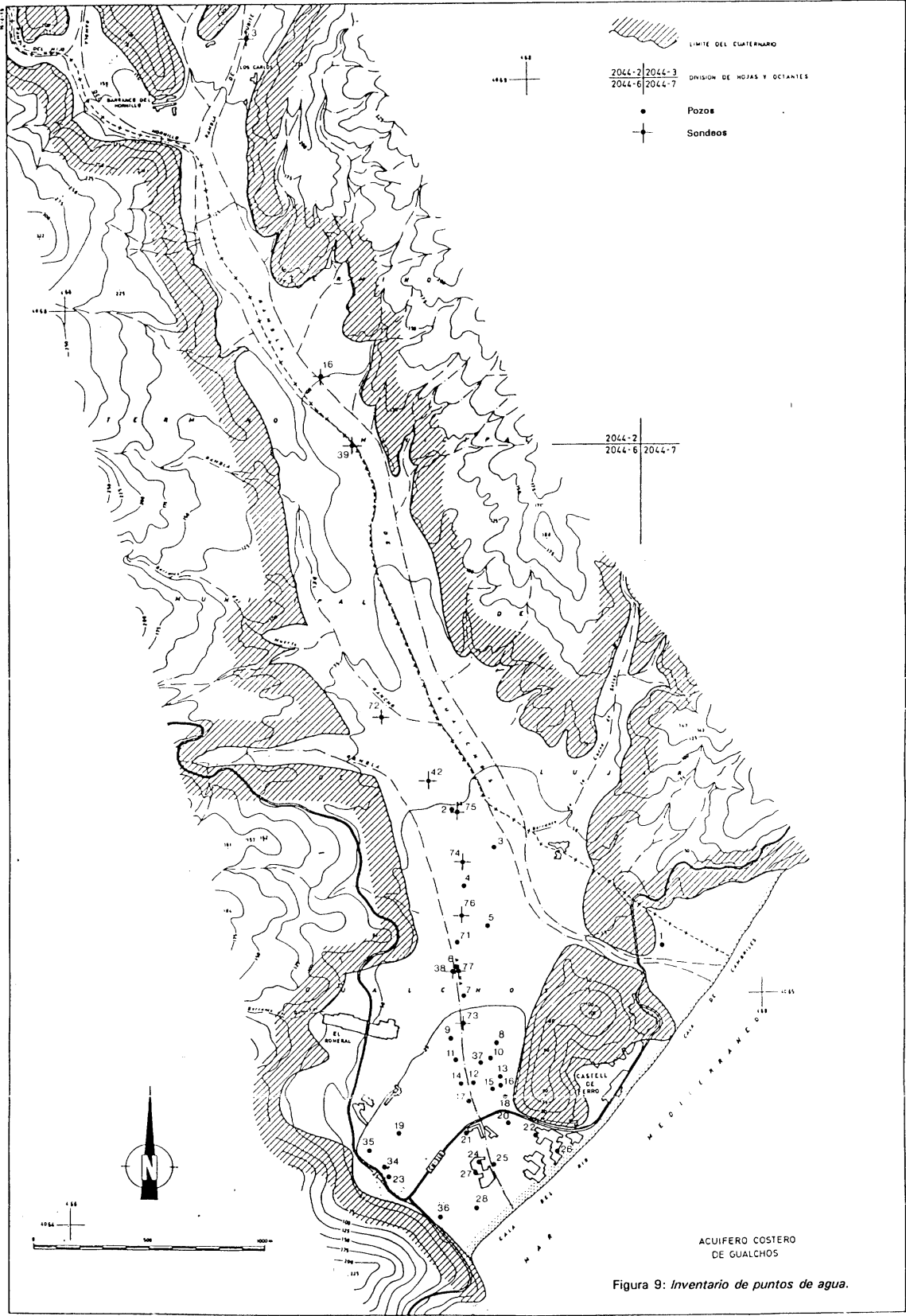
Entre los años 1974 y 1977, el IGME llevó a cabo un inventario de puntos de agua en el acuífero. El número de puntos inventariados fue de 37. Durante 1984 se actualizó, incorporando 7 nuevas captaciones, con lo que el número total de puntos inventariados es de 44.

En la Figura 9 puede observarse la situación de estos puntos.

Atendiendo a su naturaleza, los puntos se distribuyen en 11 sondeos y 33 pozos, incluyendo dentro de los pozos las antiguas norias, que en la actualidad sólo se diferencian de los anteriores en la forma y tamaño de la excavación.

En cuanto a la profundidad de las captaciones, varía en función de los caudales a extraer entre 6 y 45 m para los pozos, y 40 a 72 m para los sondeos, siendo la profundidad media de los pozos de 17.91 m, 63.8 m la de los sondeos y 29.23 m la profundidad media conjunta.

La profundidad del nivel piezométrico desde la superficie varía en función de la topografía y de su proximidad a la costa entre 4 y 50 m, siendo la profundidad media de 21.43 m.



El diámetro medio de las captaciones es de 1.82 m para pozos y 0.40 m para sondeos, siendo la media conjunta de 1.47 m.

El revestimiento de los sondeos se ha realizado con tubería de acero y, en cuanto a los pozos, 19 están revestidos de hormigón, 11 de anillos de piedra, 11 de mampostería de ladrillo, y 2 no tienen revestimiento.

En cuanto al uso del agua, 32 se emplean para regadío, 7 para abastecimiento urbano, 1 se utiliza para ambos fines y los 4 restantes no se explotan en la actualidad.

La energía utilizada para la extracción del agua es eléctrica en la mayoría de los casos (34 puntos), 6 están provistos de motores diesel y 4 que no se utilizan no tienen motor alguno. La potencia de los motores eléctricos varía entre 0.25 CV y 200 CV, con una potencia media de 28.65 CV; la de los motores de explosión varía entre 15 y 42 CV, siendo la media de 33.83 CV.

Las bombas que impulsan el agua son del tipo sumergido en 10 puntos, aspirante de eje horizontal en 24 puntos y vertical en 6 puntos.

La situación de los sondeos piezométricos de la CASE aparece en la Figura 8, ya que estos aún no han sido incorporados al inventario del ITGE.

5.3.- USO Y EXPLOTACION DEL AGUA SUBTERRANEA

En 1984, el IGME estableció una red de control de las explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero. La red consistía en 37 puntos, que a partir de 1985 pasaron a ser 42 y en 1987 a 43, que son los que continúan controlándose hasta hoy.

La agricultura absorbe el 90% de la demanda existente en la zona. Los cultivos son exclusivamente de hortalizas, y se efectúan en invernaderos que aprovechan las suaves temperaturas invernales del clima mediterráneo costero. El gráfico de distribución mensual de las explotaciones correspondientes al año 1987-88 (Figura 10) presenta dos máximos a lo largo del año coincidentes con los meses de Marzo-Abril y Septiembre-October. Los meses de menor demanda son Enero, Diciembre y Junio.

El agua obtenida se utiliza en su mayor parte en el propio acuífero aluvial de la rambla de Gualchos, aunque una parte del agua bombeada es conducida fuera del mismo, hacia el sector situado al Este hasta la zona de Punta de Besos y La Mamola, donde los invernaderos también han proliferado en los últimos años.

El resto del agua bombeada se destina para abastecimiento de los núcleos de Castell de Ferro y Gualchos.

En el Cuadro IV se resumen las extracciones que se han producido en el acuífero durante los años controlados.

AÑO	TOTAL EXTRACCIONES (hm ³)
1984	1.68
1985/86	1.58
1986/87	1.79
1987/88	1.96
1988/89	1.73
1989/90	1.88
1990.91	1.89

Cuadro IV: Volúmenes de extracciones anuales en el acuífero de Castell de Ferro.

ACUIFERO CUATERNARIO DE LA RAMBLA DE GUALCHOS

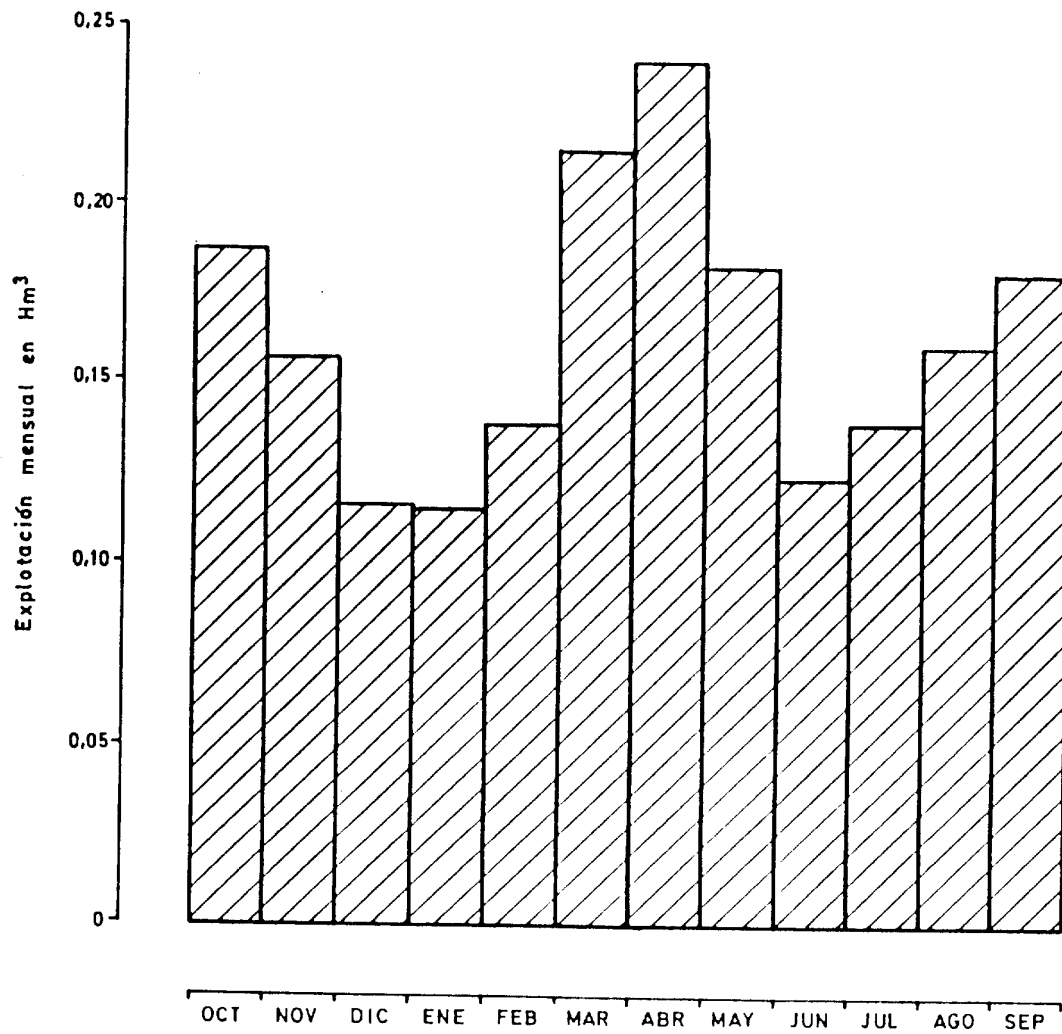


Figura 10: Distribución de las explotaciones en el año hidrológico 1987-88.

Durante el año hidrológico 1987-88 se produce un aumento del volumen de agua bombeada que se justifica en parte por la ampliación de cultivos de regadío, así como por un mayor consumo de agua en los cultivos tradicionales debido a la ausencia de lluvias durante los meses de primavera. En la Figura 11 se presenta un plano con los volúmenes extraídos para ese año en los puntos controlados.

En el año hidrológico siguiente, se produjo un descenso en el volumen de explotación, a causa principalmente del aumento de la salinidad del acuífero por intrusión salina.

Los puntos que totalizan casi el 90% de las extracciones del acuífero se localizan aproximadamente 1 km al norte de Castell de Ferro entre los cauces de las dos ramblas principales, aunque más próximos a la rambla Ancha.

5.4.- PARAMETROS HIDRAULICOS

Los primeros datos referentes a los parámetros hidráulicos del acuífero corresponden a un ensayo de bombeo realizado en 1973 por el Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP) en el sondeo de abastecimiento a Castell de Ferro, situado en el sector central de la rambla Ancha. Se obtuvieron valores de transmisividad (T) de 4300 m²/día, y caudales específicos de 61 l/s para 25 l/s de bombeo y 56 l/s para 40 l/s con descensos de 0.4 l y 0.71 metros respectivamente.

En 1983, E. TERRON realizó una serie de pruebas de muy corta duración (aproximadamente una hora), obteniendo valores de transmisividad comprendidos entre 50 y 500 m²/día. Posteriormente, la Comisaría de Aguas del Sur de España (CASE) realizó ensayos de duración similar cuyos resultados arrojan valores de T comprendidos entre 500 y 2500 m²/día. En ambos casos, los ensayos se realizaron en pozos excavados con poca penetración bajo el nivel piezométrico, por lo que la representatividad de los datos es dudable.

Por último, M.L. CALVACHE en 1991, realizó un ensayo de bombeo en un sondeo propiedad del ayuntamiento de Castell de Ferro. El caudal de bombeo fue de 12 l/s, y se tomaron medidas, además de en el propio sondeo, en el piezómetro S-4 de la CASE. Los valores de T obtenidos fueron de 3800 m²/día, el espesor saturado era de 26.6 m, por lo que el valor de permeabilidad (K) obtenido fue de 143 m/día. Por último, el valor de coeficiente de almacenamiento resultante fue del 6%.

Posteriormente, este mismo autor, ajustó un modelo matemático para el acuífero, considerando como valores de T más representativos 30000 m²/día para los conjuntos carbonatados del Cerro del Aguila y del Cerro de Castell de Ferro, y comprendidos entre 300 y 10000 m²/día en el aluvial, correspondiendo los valores más elevados al sector central de la rambla Ancha en las proximidades de la costa, y disminuyendo progresivamente hacia la periferia y zona alta del acuífero. Para el coeficiente de almacenamiento, consideró como valores más representativos el 0,1% en las zonas de borde próximas a los materiales metapelíticos impermeables, y del 10% en el sector central del acuífero.

5.5.- PIEZOMETRIA

Las primeras medidas de nivel piezométrico realizadas por el IGME en el acuífero, se llevaron a cabo el mes de Octubre de 1974, coincidiendo con la realización del inventario de puntos de agua. En Septiembre de 1977 se tomaron medidas de nivel en algunos puntos, y en los años 1980, 1981 y 1982, J. BENAVENTE y E. TERRON, con motivo de sus trabajos de investigación en la zona, estudiaron las características

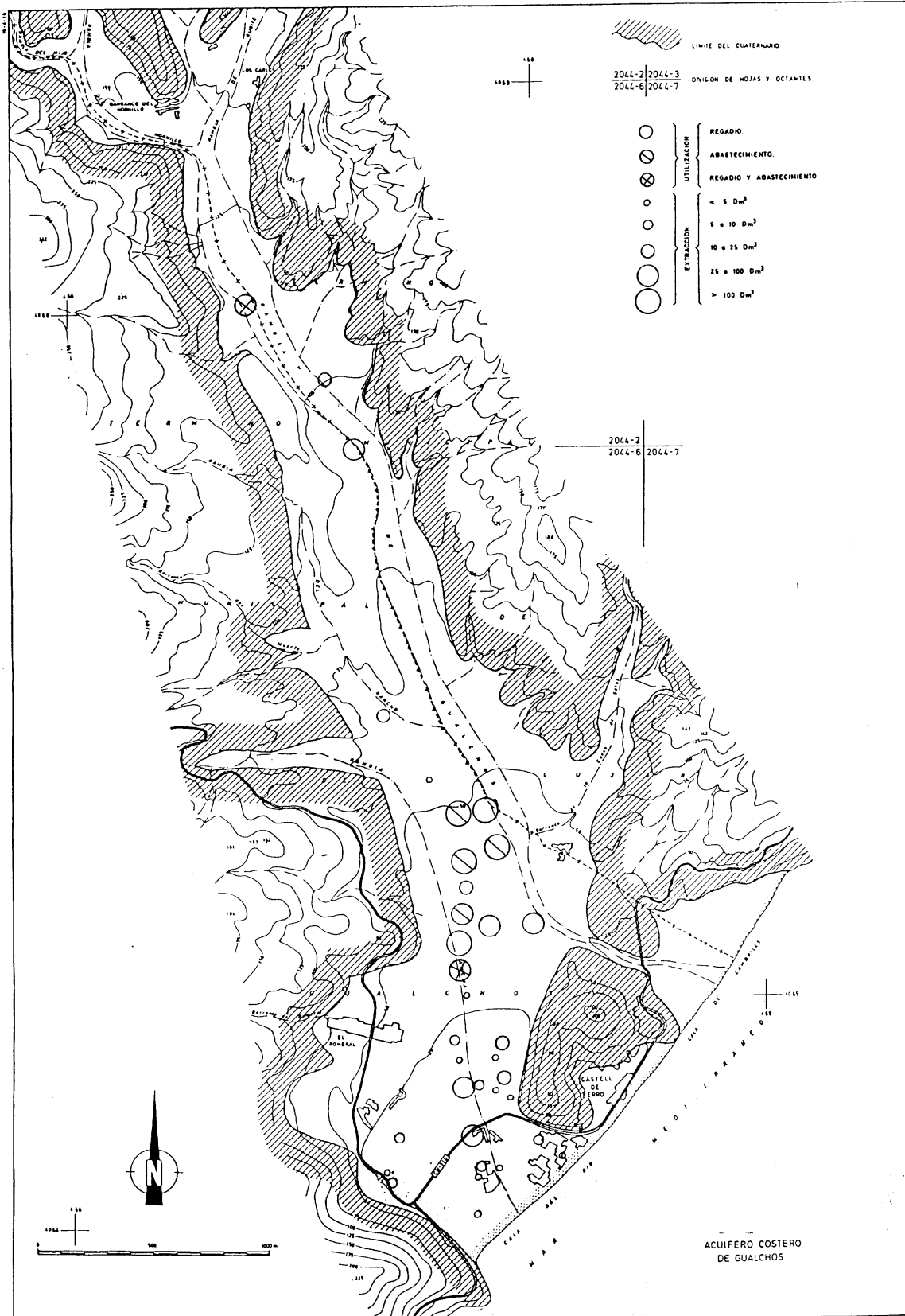


Figura 11: Volúmenes de explotaciones correspondientes al año 1987-88.

hidrogeológicas de este acuífero.

En el año 1982, el IGME estudió el comportamiento piezométrico del acuífero dentro del proyecto "Análisis del estado actual de los acuíferos costeros del mediterráneo español".

Durante 1984, el IGME realizó trabajos de actualización del inventario de puntos de agua, encaminados a cuantificar el volumen anual de explotaciones y estableció una red piezométrica integrada por 20 puntos. Como complemento se realizó la nivelación topográfica de precisión de los puntos que componen la red piezométrica.

A finales de 1984, la CASE comenzó un control piezométrico con periodicidad mensual o trimestral en sondeos construidos a tal efecto y que se complementó con la instalación de un limnógrafo.

A lo largo de los años 1985 y 1986, el IGME realizó cuatro campañas de medidas de nivel piezométrico, durante los meses de Julio de 1985 y Febrero, Mayo y Octubre de 1986. Se midieron 30 puntos que conforman la red de control que el IGME estableció en el acuífero.

Durante 1987, el IGME realizó ocho campañas de controles, con periodicidad mensual, comprendidas entre los meses de Mayo y Diciembre.

Por último, durante 1988, las campañas realizadas por el IGME fueron diez, entre los meses de Enero y Octubre.

5.5.1.- Características de la superficie piezométrica

BENAVENTE (1982) encontró en la parte final de la rambla Ancha, y como consecuencia de extracciones excesivas de agua subterránea, una situación de inversión del gradiente hidráulico, con cotas de la superficie piezométrica del orden de 1,8 m. por debajo del nivel del mar, según las medidas realizadas en Septiembre de 1981.

Advirtió que este dato había que tomarlo con ciertas reservas, ya que no disponía de una nivelación de precisión, sino de cota estimada del mapa topográfico.

E. TERRON puso de manifiesto la existencia de un flujo de agua subterránea hacia el mar, ligeramente desplazado hacia el Oeste con respecto al cauce de la rambla Ancha, así como disminución del gradiente hidráulico hacia el mar y hacia el sector oriental (Figuras 12 y 13).

Según las medidas tomadas por el IGME en el mes de Noviembre de 1982, la superficie piezométrica del acuífero desciende en sentido NO-SE, desde valores próximos a los 8 m.s.n.m. en el extremo septentrional a valores próximos al nivel del mar en las inmediaciones de la línea de costa. No obstante, estas cifras deben tomarse con ciertas reservas, pues se carecía de nivelación topográfica de los pozos.

El gradiente hidráulico medio es del orden del 4 por mil.

El sentido de circulación del agua subterránea, según se deduce del trazado de las isopiezas de 1982 (Figura 12), es de NO a SE, aunque en el sector suroccidental podría ser próximo a O-E como consecuencia del posible aporte lateral subterráneo de los materiales carbonatados alpujárrides de borde.

Las observaciones realizadas por el IGME en 1984, apoyadas en cotas precisas, aportaron las siguientes conclusiones:

En la cabecera del acuífero, en la zona de Los Carlos, el nivel piezométrico se sitúa a la cota 56-57 m.s.n.m.

Los mapas de isopiezas realizados con los datos tomados en el año 1984 (Figuras 13 y 14), apoyados en la nivelación topográfica llevada a cabo, muestran que hay zonas en la parte más meridional del acuífero en las que el nivel piezométrico se encuentra por debajo del nivel del mar como consecuencia de los bombeos. Este hecho es más acusado en la campaña de Septiembre, con cotas próximas a los 4 metros bajo el nivel

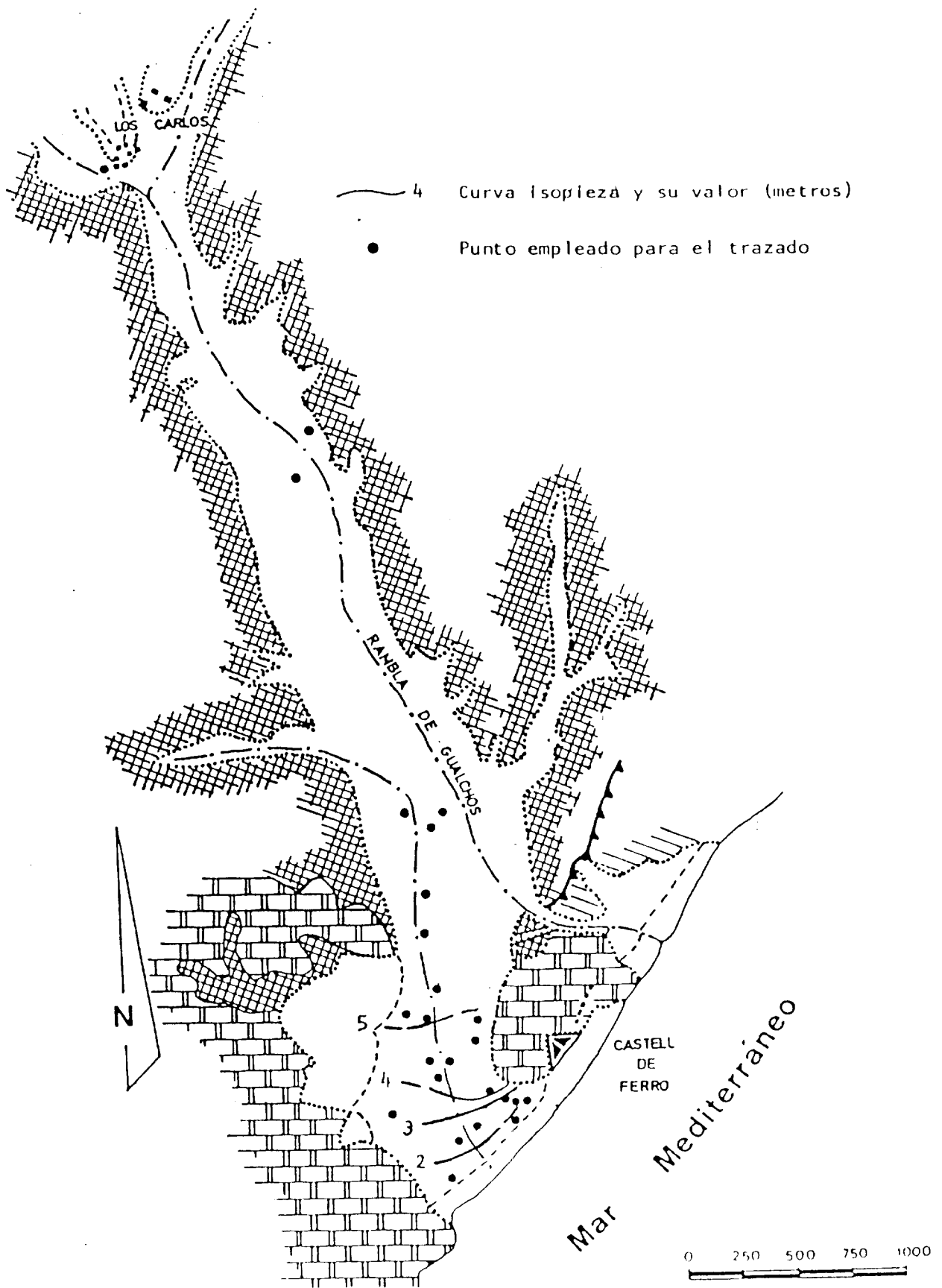


Figura 12

ACUIFERO COSTERO DE GUALCHOS
ISOPIEZAS (julio 1.982)

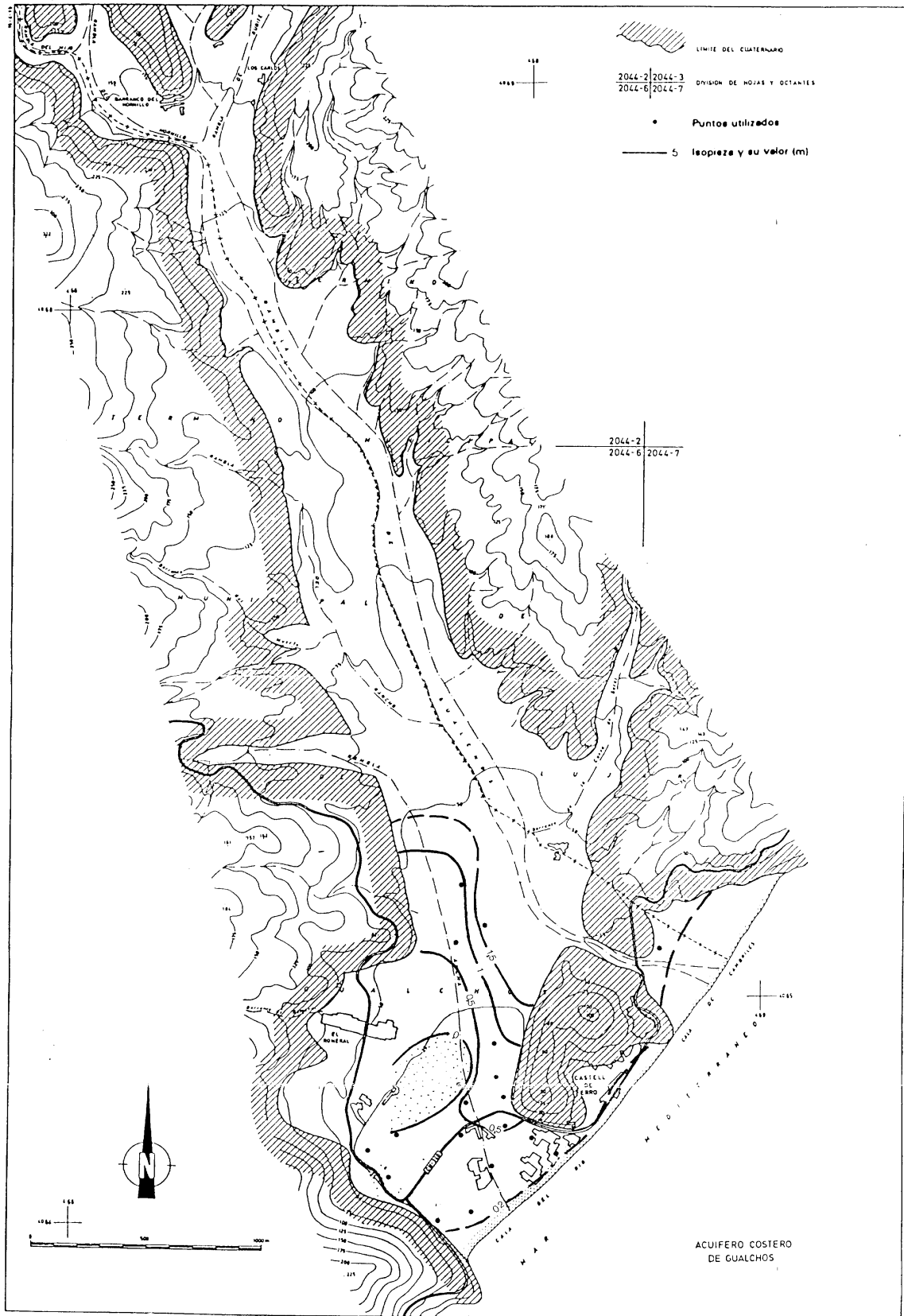


Figura 13: Isopiezas (Junio 1984).

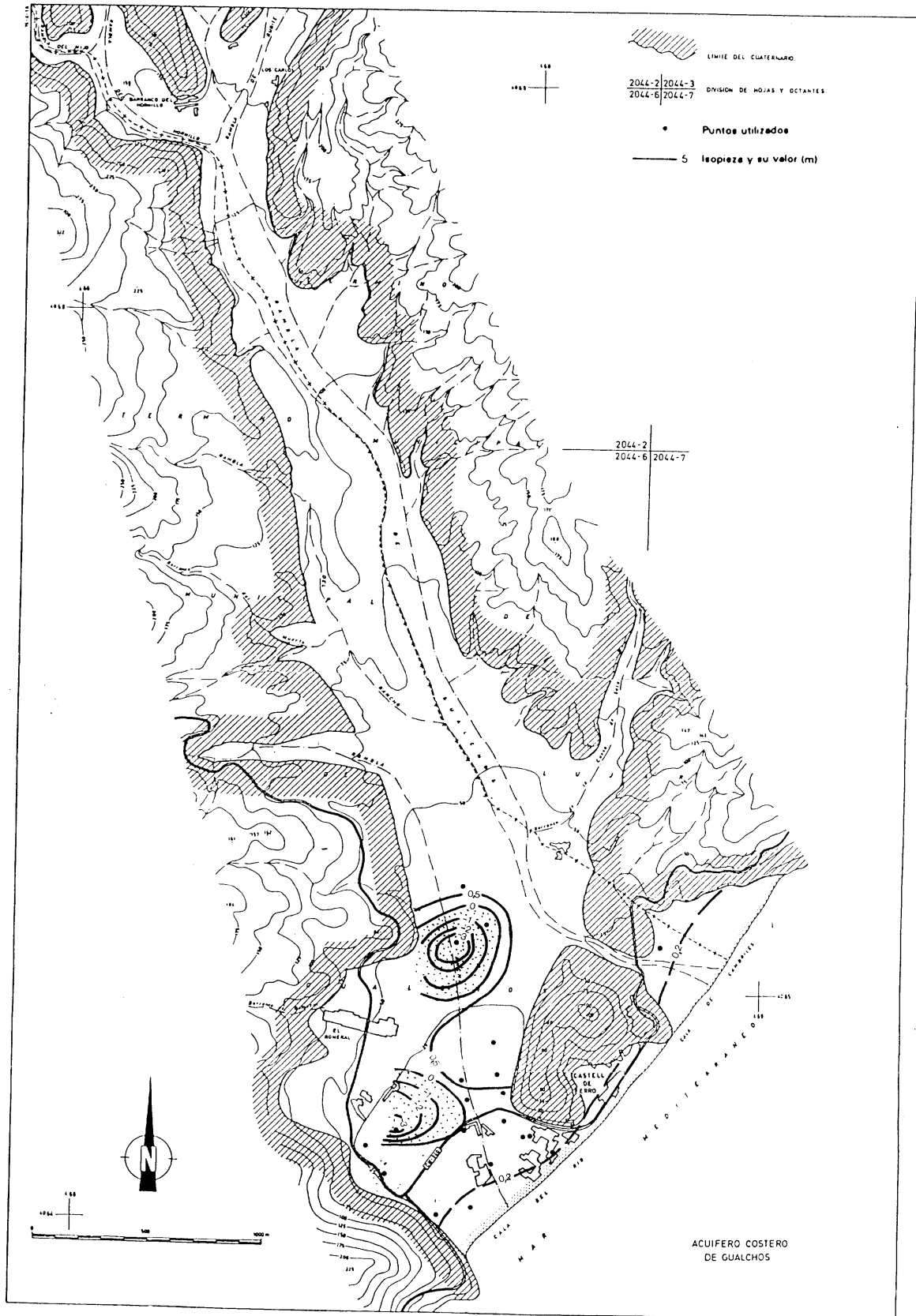


Figura 14: Isopiezas (Septiembre 1984).

del mar, aunque también en la campaña realizada en Junio aparecen cotas de la superficie piezométrica de -0,45 m. debido a que durante los meses de invierno también se realizan bombeos en este acuífero. Así pues, la superficie piezométrica está influenciada en ambas campañas por efecto de los bombeos.

La dirección del flujo subterráneo en las zonas alta y media es con toda probabilidad NO-SE, que es la dirección que tiene el acuífero. Ya en la zona baja, esta dirección se ve afectada puntualmente por las depresiones originadas por los bombeos que producen conos de depresión.

En la parte alta de la cuenca, el gradiente llega a ser del 4%, suavizándose en la zona media, en donde es del orden del 2%.

En la zona baja, en los 1,5 Km más próximos a la costa, bajo los efectos de los bombeos el gradiente disminuye considerablemente, habiéndose calculado valores de 0,6 por mil en la campaña de Junio, y 0,4 por mil en Septiembre.

Esto debe ser consecuencia, fundamentalmente, de la disminución del flujo, como respuesta a la importante explotación que existe al principio de este sector. También puede influir el aumento de transmisividad, habida cuenta de que el espesor saturado es unas diez veces mayor que en cabecera, además de la posible existencia de materiales más permeables en la columna litológica (BENAVENTE, 1988).

Las campañas de medidas realizadas en 1985 mostraron una situación semejante a la de 1984, con dos zonas en las que se registraron cotas inferiores al nivel del mar, originadas como consecuencia de los bombeos.

La situación observada en 1986 es apreciablemente mejor a la del año anterior. Aunque siguen existiendo puntos con cotas por debajo del nivel del mar, los niveles piezométricos, en general, se encuentran a cotas superiores. Esto está sin duda causado por un incremento en las precipitaciones durante ese año, junto con un descenso en las extracciones (Ver Cuadro IV).

La Figura 15 muestra las isopiezas correspondientes a Septiembre de 1987. Al igual que en 1984, se observan dos zonas influenciadas por los bombeos, con un umbral piezométrico entre ambas, con cotas ligeramente inferiores a las del nivel del mar. En la zona más meridional, puede apreciarse cómo existe una ligera inversión de gradientes en la zona de contacto con el acuífero carbonatado.

Las Figuras 16, 17 y 18 muestran la evolución piezométrica del acuífero durante el año 1988.

La piezometría correspondiente al mes de Enero muestra un ligero gradiente del orden de 0,07%, las isopiezas están influenciadas por los bombeos, pero no existen puntos con cotas por debajo del nivel del mar.

Las isopiezas correspondientes al mes de Mayo muestran una situación radicalmente distinta. Existe un amplio sector con cotas inferiores al nivel del mar, el umbral que se observó en el plano correspondiente a 1987 ha desaparecido, y se deduce un flujo a favor del gradiente inverso procedente de los materiales carbonatados, principal vía de penetración de la intrusión marina, como ya pusieron de manifiesto diversos autores (VALLE, 1973; TERRON, 1983; BENAVENTE Y TERRON, 1983).

El plano correspondiente a Septiembre de 1988 muestra la misma situación anterior, pero los niveles piezométricos se han elevado sensiblemente debido a la disminución en los bombeos que se produjo durante los meses de Junio y Julio. En el punto 2044-6-071 se observó un descenso en el nivel, ya que en él se habían continuado los bombeos durante el estiaje.

En 1984, el IGME inició el control piezométrico del acuífero de manera continuada mediante la instalación de un limnógrafo en el punto nº 2044-6-017. Este punto es un pozo de 13,82 m de profundidad y 1,5 m de diámetro, provisto de una caseta de protección en donde no se realizan bombeos. Está situado a 550 m del mar, con el nivel sobre 12,80 m de profundidad, estando la referencia en el brocal a una cota de 13,24

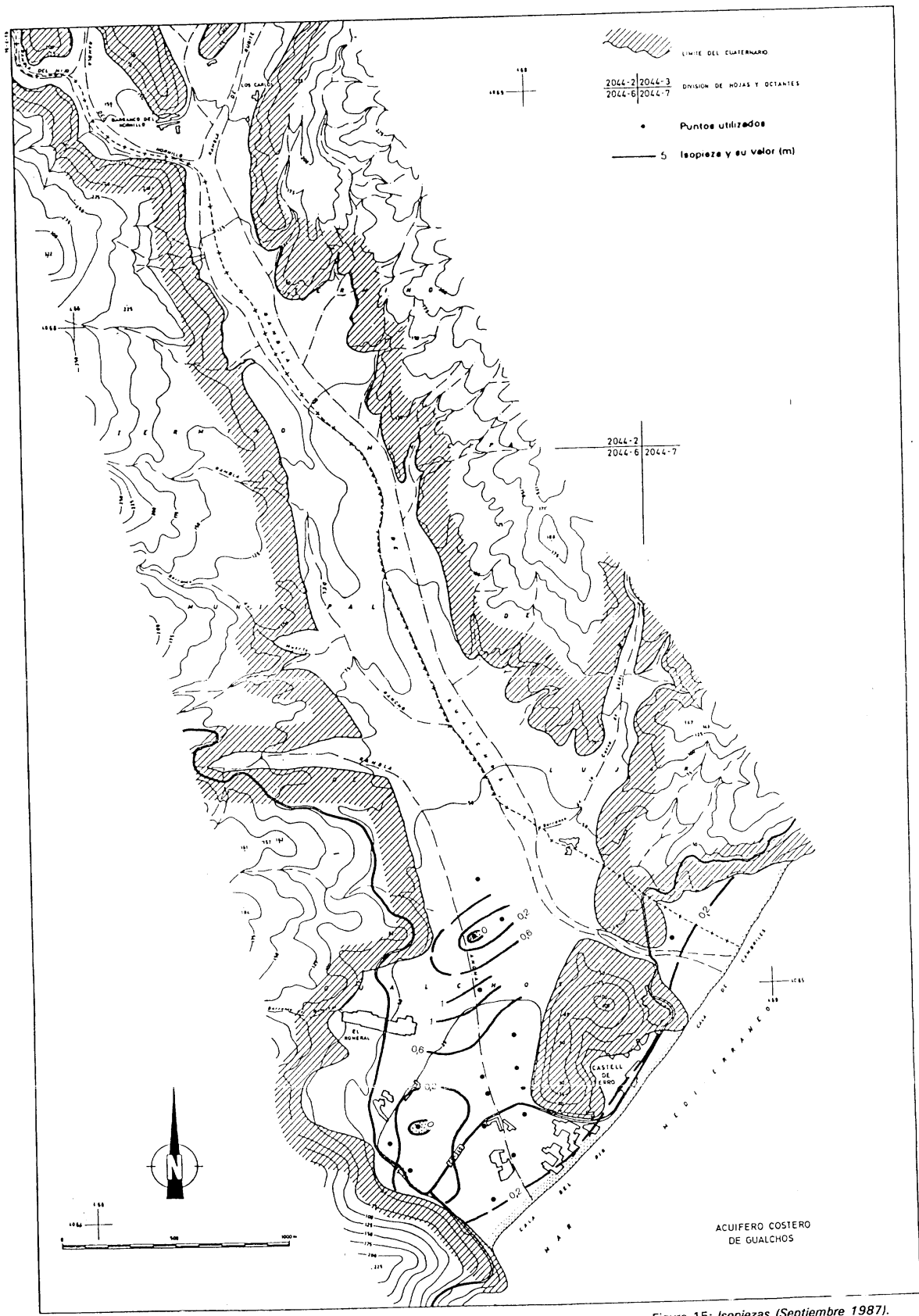


Figura 15: Isopiezas (Septiembre 1987).

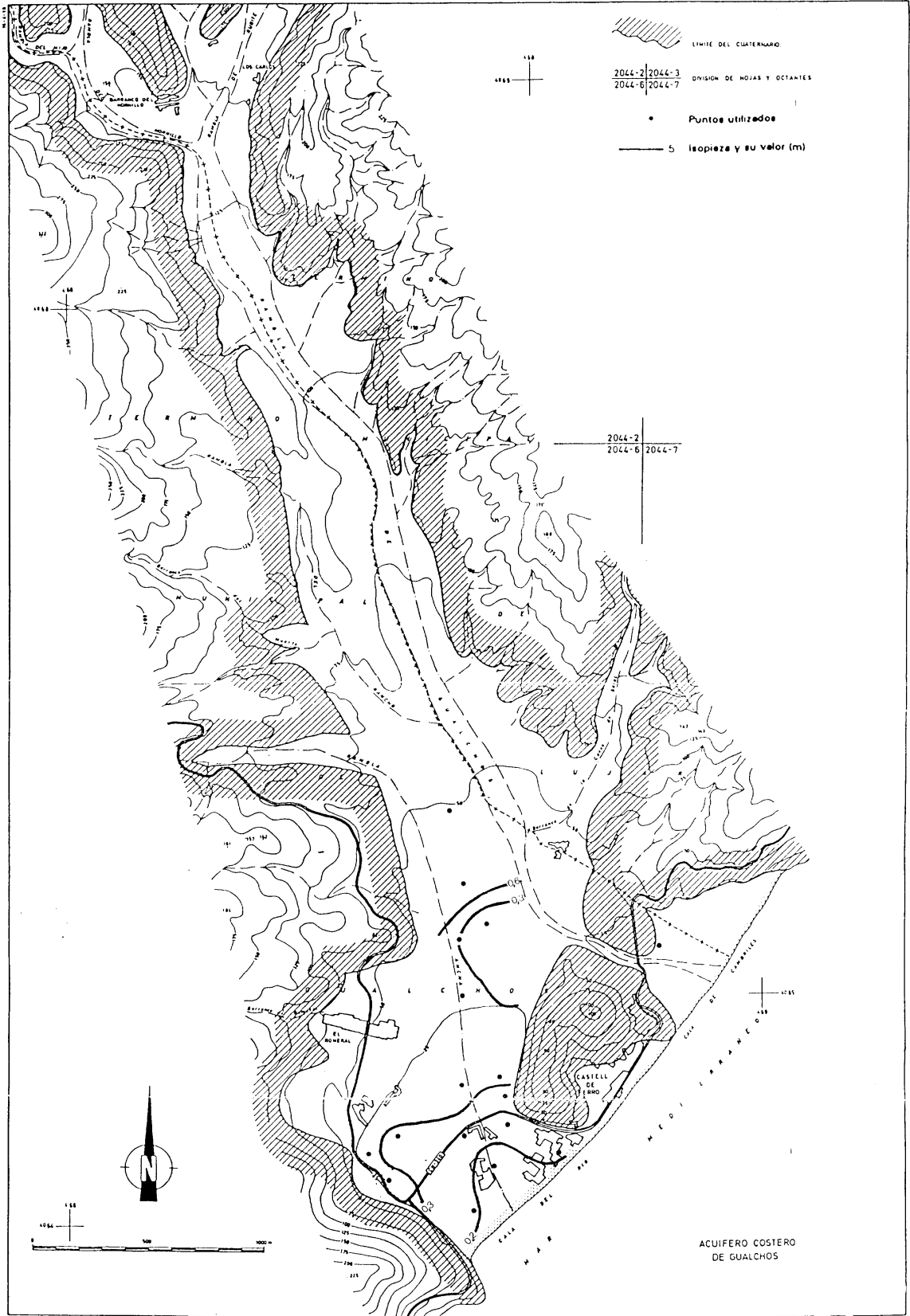


Figura 16: Isopiezas (Enero 1988).

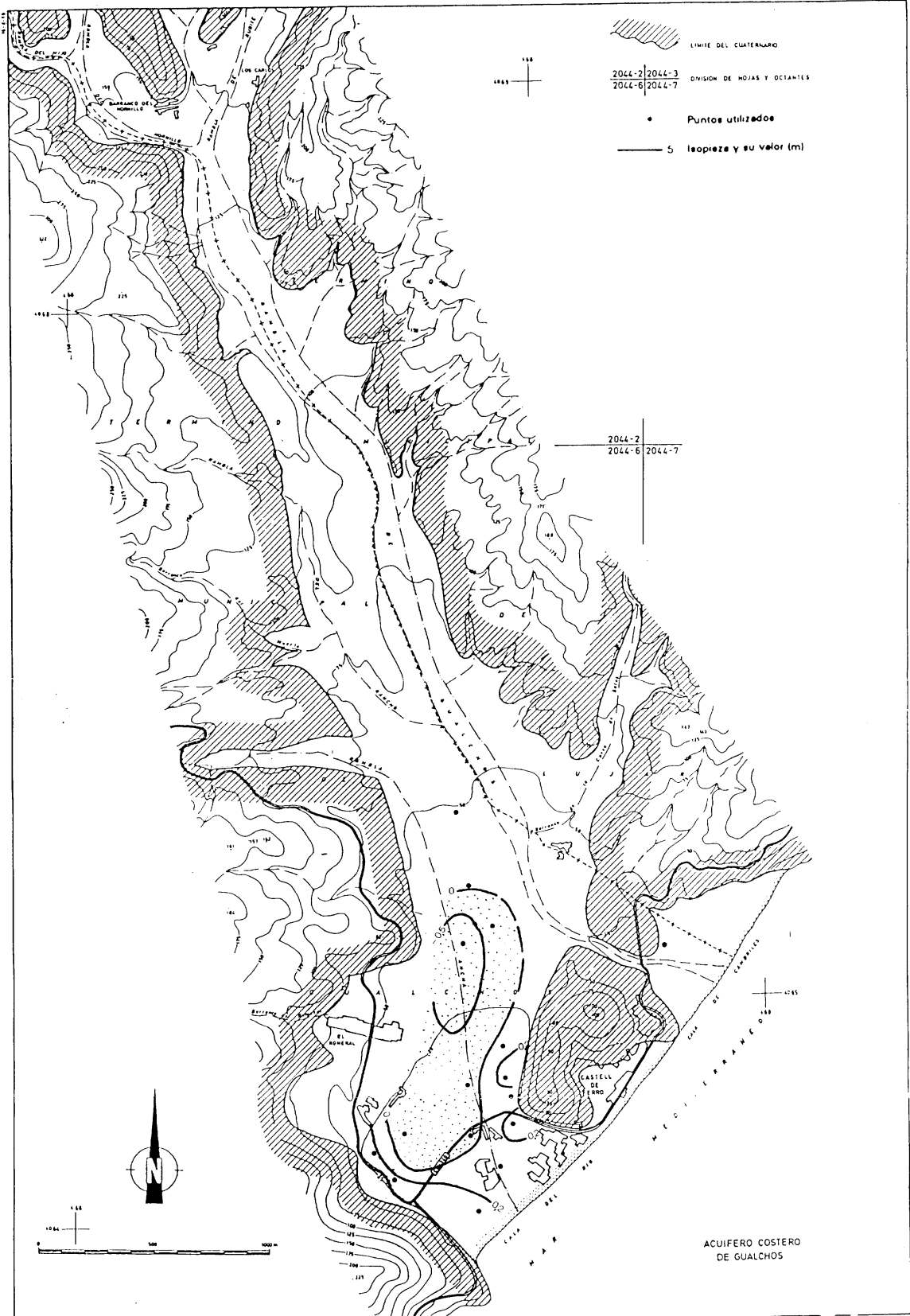


Figura 17: Isopiezas (Mayo 1988).

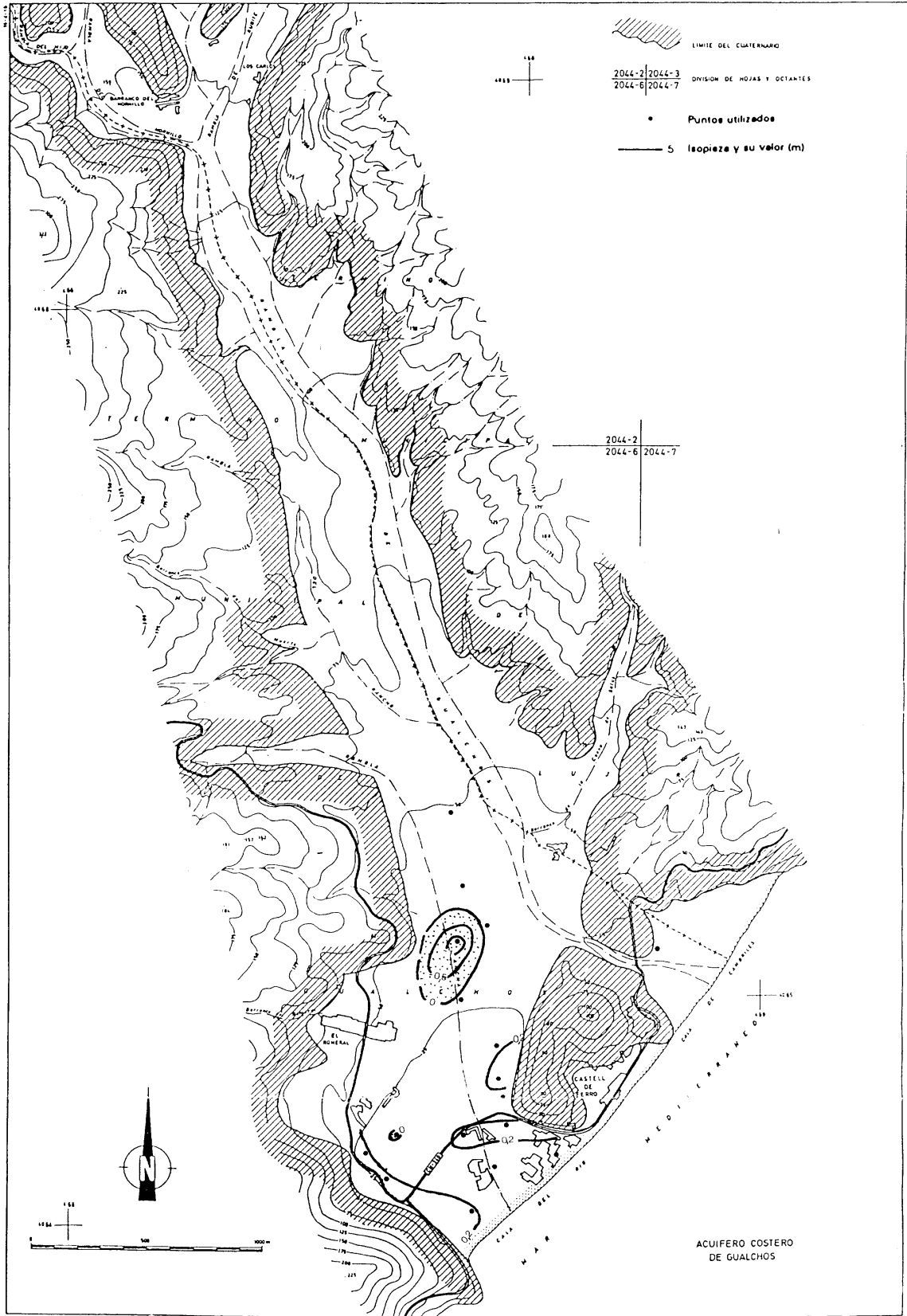


Figura 18: Isopiezas (Septiembre 1988).

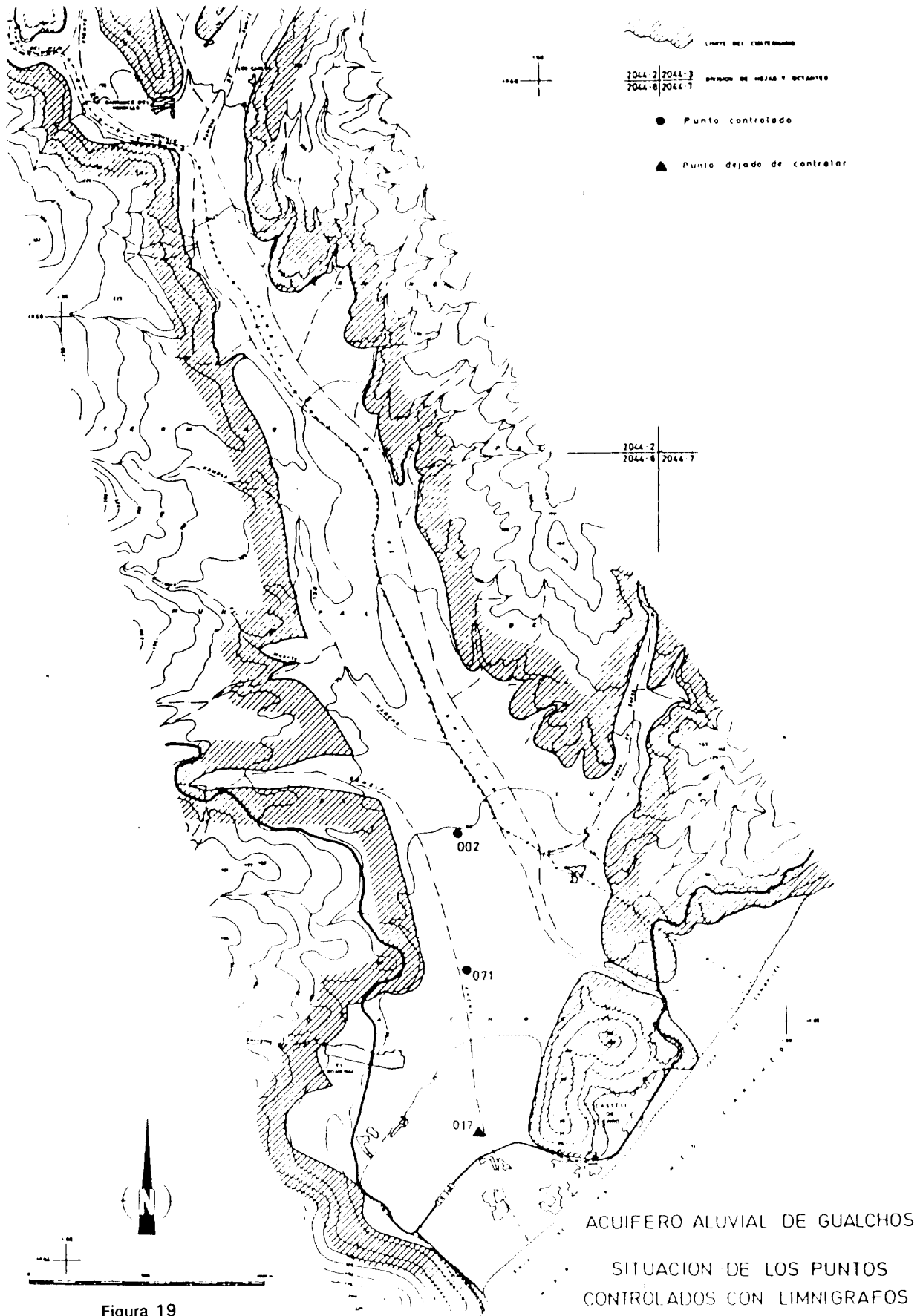


Figura 19

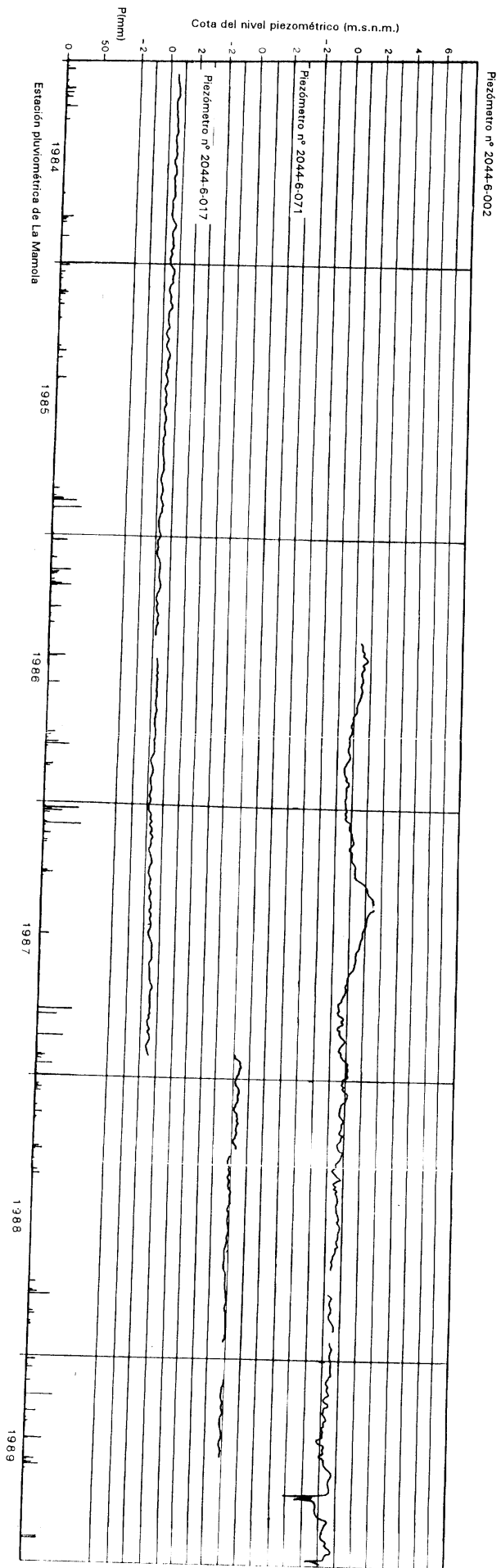


Figura 20: Evolución piezométrica de los puntos controlados por inmigrantes.

m.s.n.m. A finales de Noviembre de 1987, dejó de controlarse este punto, pasando el limnógrafo a controlar el punto 2044-6-071 (Figura 19).

En la Figura 20 se representa el registro correspondiente al punto anteriormente comentado. Se observa cómo las oscilaciones del nivel son del orden de 20-25 cm, siendo apenas apreciables las variaciones estacionales. Esto es debido a su proximidad a la costa, donde, tanto los efectos de los bombeos como los de las recargas inducidas por las precipitaciones, son amortiguados, llegando incluso a apreciarse los efectos de las mareas.

El limnógrafo situado en el punto 2044-6-071 se instaló en Noviembre de 1987 y continúa controlándose en la actualidad. Está situado a unos 500 metros aguas abajo del piezómetro 2044-6-002, donde hay instalado otro limnógrafo, y a un kilómetro aproximadamente del mar.

Como se trata de un pozo de bombeo, para confeccionar el gráfico de evolución, se han anulado los descensos momentáneos producidos por el propio bombeo, que en este caso son del orden del metro.

Durante 1987-88 aparecen los niveles más altos en los meses de Diciembre a Abril, alcanzando su cota máxima en Diciembre, y descendiendo desde Abril hasta Septiembre.

A partir de Julio de 1988, el nivel piezométrico se sitúa por debajo del nivel del mar, y prácticamente continúa con cotas negativas hasta Julio de 1989, época hasta la que disponemos de registros.

El limnógrafo situado en el piezómetro 2044-6-002 se instaló en Mayo de 1986. El punto está situado a unos 1500 metros de la línea de costa y en él no se explota caudal alguno, sí se explota en cambio un punto situado a 20 metros. Estos bombeos se hacen de manera intermitente y son perfectamente detectados por el limnógrafo, produciendo descensos en el nivel estático del orden de 0,40 m, que se han anulado a la hora de interpretar los limnógrafos.

Los niveles más altos se sitúan en el mes de Mayo durante los dos primeros años de registro, descendiendo posteriormente hasta situarse en los niveles mínimos siempre durante el mes de Septiembre. Las oscilaciones son próximas a los 2 metros.

Durante 1988, debido a la escasez pluviométrica, se observan oscilaciones más tenues, alcanzándose los máximos en el mes de Enero. En 1989, el nivel piezométrico se sitúa por primera vez con cotas negativas con respecto al nivel del mar en el mes de Julio, situación que vuelve a repetirse a finales de Septiembre.

Es significativo que la respuesta de la piezometría a las precipitaciones no es inmediata ni importante, sino que se produce de un modo amortiguado, y con cierto desfase.

En la Figura 21 se representan las evoluciones piezométricas en cinco sondeos de la CASE (la situación de los mismos se expone en el plano de la Figura 8). Se observan unas oscilaciones de nivel en cabecera que superan los 12 metros de amplitud (Piezómetro P-8), con marcados máximos en invierno-primavera y mínimos al final del estiaje, lo que ilustra acerca de una dinámica hidrogeológica relativamente rápida en relación con la infiltración de la eventual escorrentía superficial (BENAVENTE et al., 1988).

M.L. CALVACHE en 1991, llamó la atención sobre las suaves oscilaciones del nivel piezométrico en el sector de la vega de Castell de Ferro, donde, como puede deducirse de las Figuras 20 y 21, en la mayor parte de los puntos aparecen variaciones de unos 50 cm, y sólo en aquellos cercanos a los bombeos más importantes alcanzan oscilaciones superiores al metro. Esto, como se comentó anteriormente, no ocurre en cabecera, donde las oscilaciones piezométricas son mucho mayores.

M.L. CALVACHE cita como una de las posibles causas la proximidad de los límites permeables correspondientes a las calizas, las cuales, debido a que se encuentran en

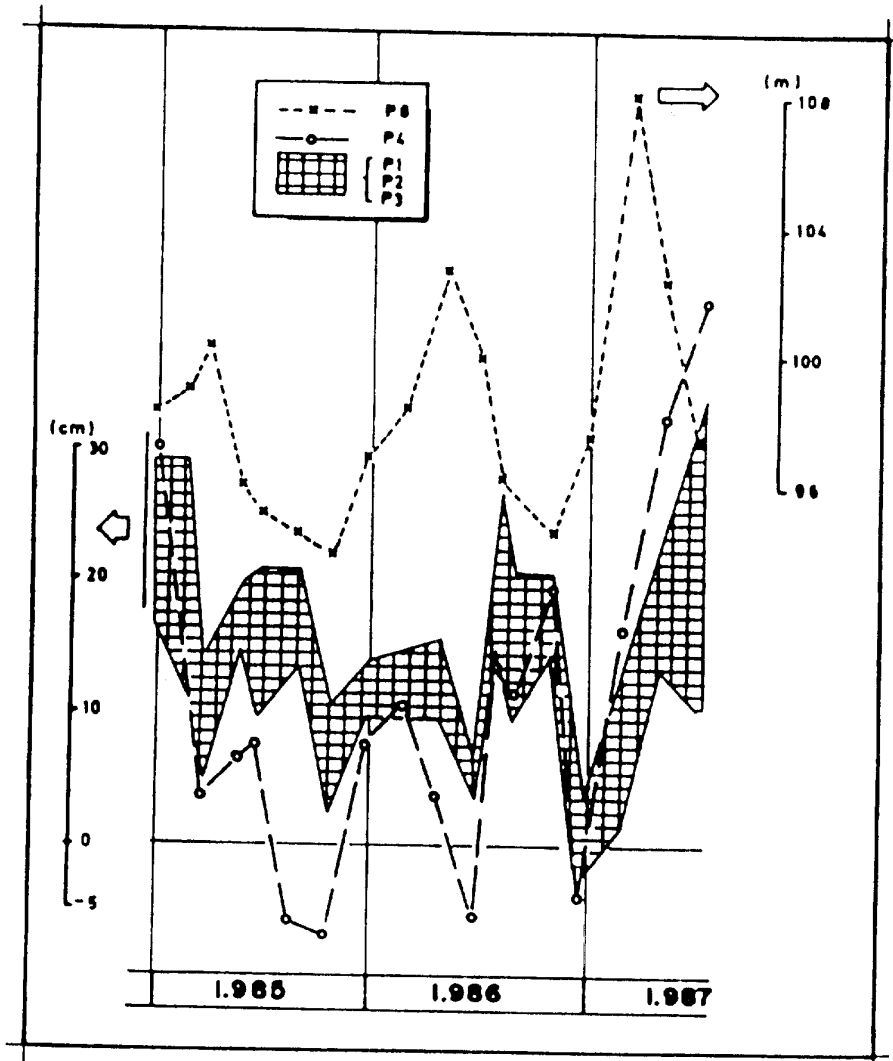


Figura 21: Evoluciones de la cota del nivel de agua en algunos piezómetros de la CASE. (Fuente: BENAVENTE, 1987).

contacto con el nivel del mar y a la alta permeabilidad que presentan, podrían amortiguar las oscilaciones producidas en el acuífero detrítico, hecho que no ocurriría si el acuífero estuviese rodeado por materiales impermeables como en el caso del acuífero de Almuñécar, donde las oscilaciones son mucho mayores.

E. TERRON, en 1983, calculó de forma aproximada el volumen de agua almacenada en el acuífero basándose en la profundidad del substrato obtenida a partir de las columnas estratigráficas en algunos sondeos. El valor obtenido para épocas de aguas altas fue de 3 hm^3 , y de 1 hm^3 para épocas de aguas bajas (final del estiaje).

5.6.- BALANCE HIDRAULICO

En el balance del acuífero que establece E. TERRON (1983) se estiman unas entradas totales comprendidas entre $6,1$ y $6,3 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En el apartado 4.2 se ofrece un valor de $4,7 \text{ hm}^3/\text{año}$ de aportaciones anuales en la cuenca, extraído del Plan Hidrológico Nacional. Hay que tener en cuenta que parte de la cabecera de cuenca está constituida por materiales permeables en los que el agua infiltrada se integra en sistemas de flujos subterráneos cuyas salidas están en cuencas adyacentes. Además hay que señalar el hecho de que, excepcionalmente, puede haber escorrentía superficial directamente hacia el mar. Sumando estos hechos, BENAVENTE et al., en 1988, considera que un valor en la recarga del orden de $3 \text{ hm}^3/\text{año}$ puede ser suficientemente orientativo, valor muy inferior al calculado por E. TERRON.

Las salidas por extracciones, según se deduce del Cuadro III, pueden estimarse en los últimos años comprendidas entre $1,8$ y $1,9 \text{ hm}^3/\text{año}$. En cuanto a las salidas subterráneas al mar, BENAVENTE (1987) las estima por aplicación de la fórmula de Darcy a la franja costera entre $0,5$ y $1 \text{ hm}^3/\text{año}$.

5.7.- CARACTERISTICAS HIDROQUIMICAS. EVOLUCION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

Los primeros datos sobre la hidroquímica del acuífero corresponden a J.BENAVENTE (Tesis doctoral, 1982).

En este trabajo, en base a una red de 12 puntos muestreados el 23/9/81, se hace un análisis de las principales características hidroquímicas con las que llega a establecer tres áreas dentro del acuífero con distinta facies química:

- En la cabecera del acuífero la facies es bicarbonatada cálcica con bajo contenido salino (600 mg/l).

-En el sector central la facies predominante es sulfatada cálcico-magnésica o magnésico-cálcica que podría estar originada por un proceso de disolución de yesos.

-En el sector costero, por último, la facies obtenida es clorurada sódica, clorurada cálcica o mixta entre ambas, justificada esta variación por un proceso de intrusión marina favorecido por la inversión del gradiente hidráulico a consecuencia de la sobreexplotación del acuífero.

E. TERRON, 1983, con un tratamiento de 113 análisis correspondientes a 27 puntos muestreados durante los años 1980, 1981 y 1982 hace un estudio más profundo del quimismo de este acuífero, así como de su evolución temporal y espacial. Las conclusiones son similares a las obtenidas por el autor anterior, diferenciando por la facies química y el contenido salínico tres sectores:

- Sector de cabecera. Las aguas de este sector son las de menor contenido salino de todas las analizadas (800 mg/l). Los puntos se localizan en un área de recarga predominante. Presenta facies principalmente bicarbonatadas cálcicas si los puntos están próximos a los afloramientos carbonatados, si no son bicarbonatadas-sulfatadas cálcico-magnésicas.

-Sector central. Se produce un incremento notable de la salinidad de los puntos correspondientes al primer sector con respecto a los del segundo (entre 1000 y 2000 mg/l). Las facies que aquí predominan son: sulfatadas-cloruradas cálcico-magnésicas y cloruradas-sulfatadas cálcico-magnésicas.

- Sector costero. Los puntos correspondientes a éste, presentan, en general, mineralizaciones totales que oscilan entre 1000 y 2000 mg/l. Las facies son cloruradas sódico-cálcica, sódico-magnésica y cálcico-sódica. En este sector se detecta un avance de la interfase agua dulce-agua marina, favorecido por las discontinuidades de las calizas.

Las Figuras 22 a 25 resumen de modo gráfico las observaciones anteriores.

Durante los años 1982, 1983 y 1984, el IGME realizó una serie de campañas de muestreo y análisis en 9 puntos de agua, que en 1984 quedaron en 5. Se determinaron concentraciones de cloruros y conductividad eléctrica fundamentalmente, con objeto del estudio de los procesos de intrusión marina en el acuífero.

En 1986 se inició el control de una red de vigilancia de la calidad en los acuíferos costeros de la provincia de Granada adyacentes a la cuenca del río Guadalfeo. Dentro de la red seleccionada se incluyeron 5 puntos correspondientes al acuífero de la rambla de Gualchos (Figura 26), los cuales continúan controlándose en la actualidad.

Los muestreos se realizan siempre tras el estiaje, durante el mes de Septiembre o de Octubre.

En el periodo de observación comprendido entre 1980-84 se manifestó un empeoramiento de la calidad de las aguas, más acentuado en el sector costero, como consecuencia del incremento de las concentraciones de cloruros. Además, se observó que se producían variaciones estacionales, aumentando las concentraciones de cloruros en el mes de Septiembre, y disminuyendo en los meses de primavera.

También se registraron aumentos en las concentraciones de nitratos que, por ejemplo en el punto 2044-6-026 pasaron de 25 mg/l en Septiembre de 1981 a 162 mg/l en Junio de 1983.

En las concentraciones de sulfatos y bicarbonatos no se aprecian variaciones significativas. En cambio, en los cationes analizados (sodio, potasio, calcio y magnesio) se observaron, en todos ellos, un incremento en las concentraciones.

En las observaciones realizadas en 1986, 1987 y 1988 en los cinco puntos que componen la red de control del ITGE, los puntos más cercanos a la costa presentaban una calidad mediocre, con excepción del punto 2044-7-001, que presentaba una calidad tolerable. El punto situado más al norte (2044-6-071) presentaba una calidad tolerable. Todos los puntos presentaron excesivas concentraciones en nitratos.

En el muestreo realizado en 1989 se observó una considerable degradación de la calidad en todos los puntos con importantes incrementos en las concentraciones iónicas, que ya eran elevadas en años anteriores. Esta degradación en la calidad se ha mantenido durante los años 1990 y 1991.

En relación con la calidad de las aguas para consumo humano, ya en los datos correspondientes a 1983, todos los puntos presentaban valores superiores a los permisibles por la legislación vigente en diversos aniones y cationes, con excepción del punto situado más al norte (2044-6-071). Este punto, ya en la campaña de 1986, presentaba valores superiores a los permisibles debido a su elevada concentración en nitratos.

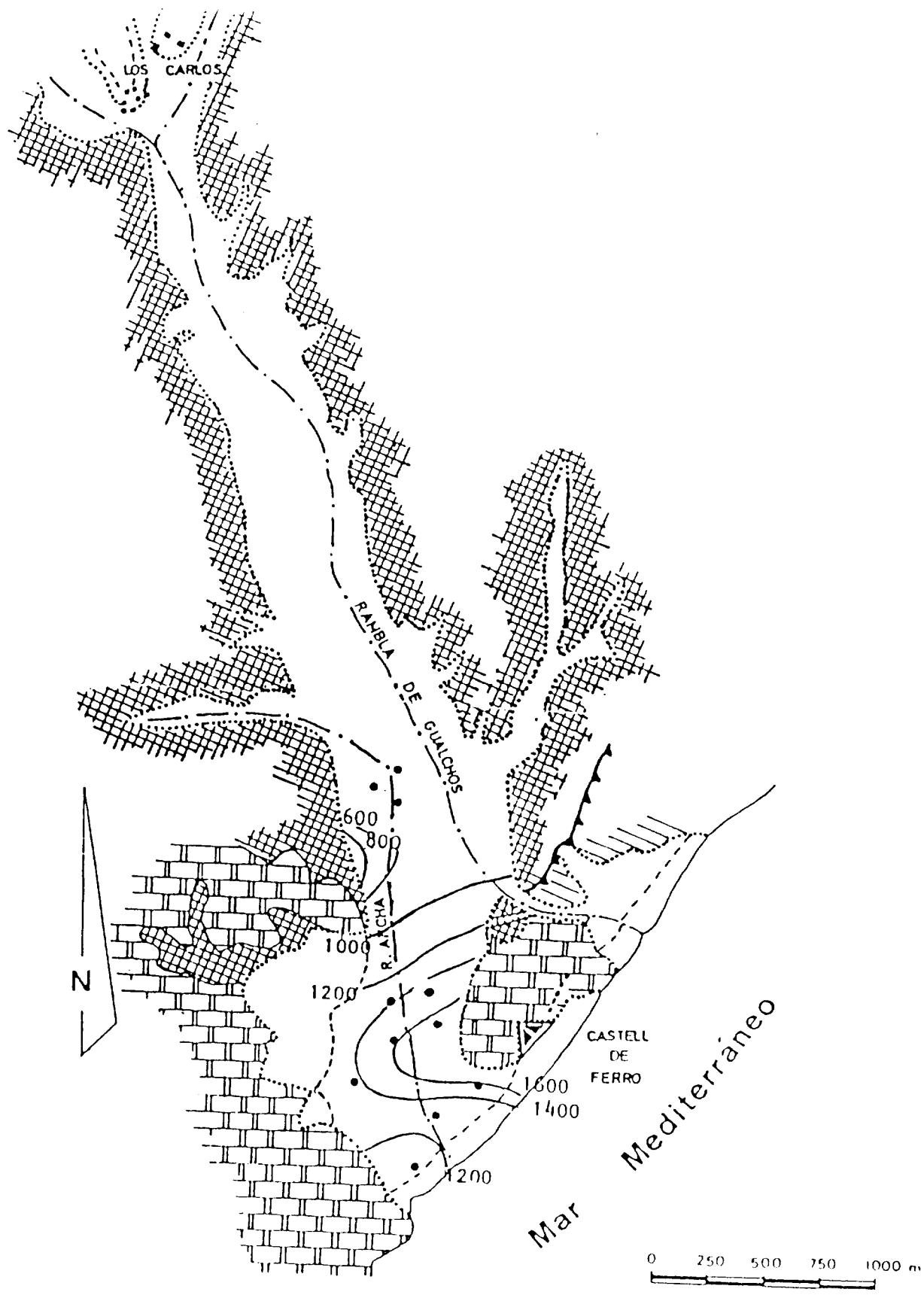


Figura 22

ACUIFERO COSTERO DE GUALCHOS
ISOCONDUCTIVIDADES (mayo 1980)

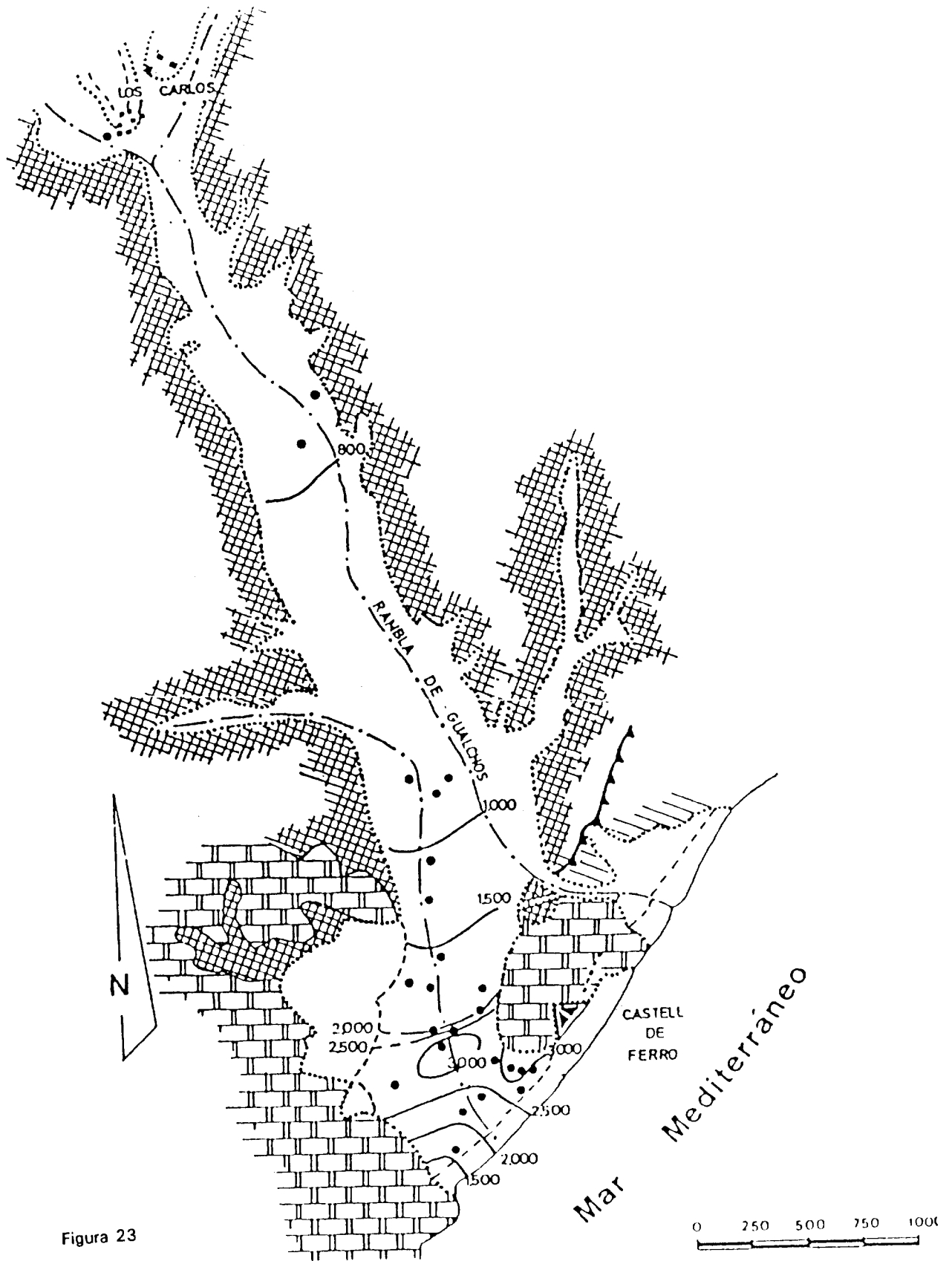


Figura 23

Fuente: E. TERRON, 1983

ACUIFERO COSTERO DE GUALCHOS
ISOCONDUCTIVIDADES (agosto 1982)

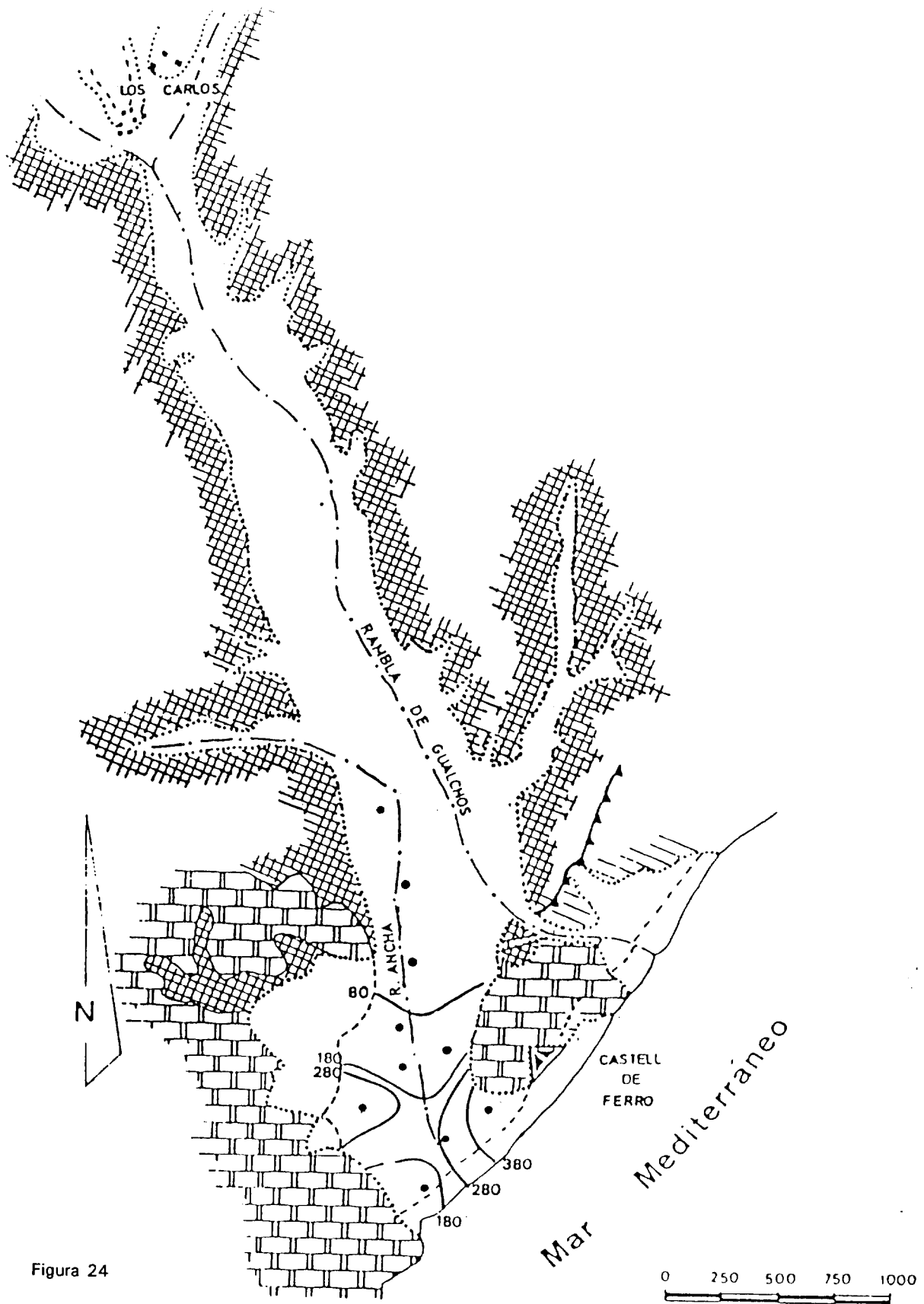


Figura 24

Fuente: E. TERRON, 1983

ACUIFERO COSTERO DE GUALCHOS
ISOCLORUROS (septiembre 1981)

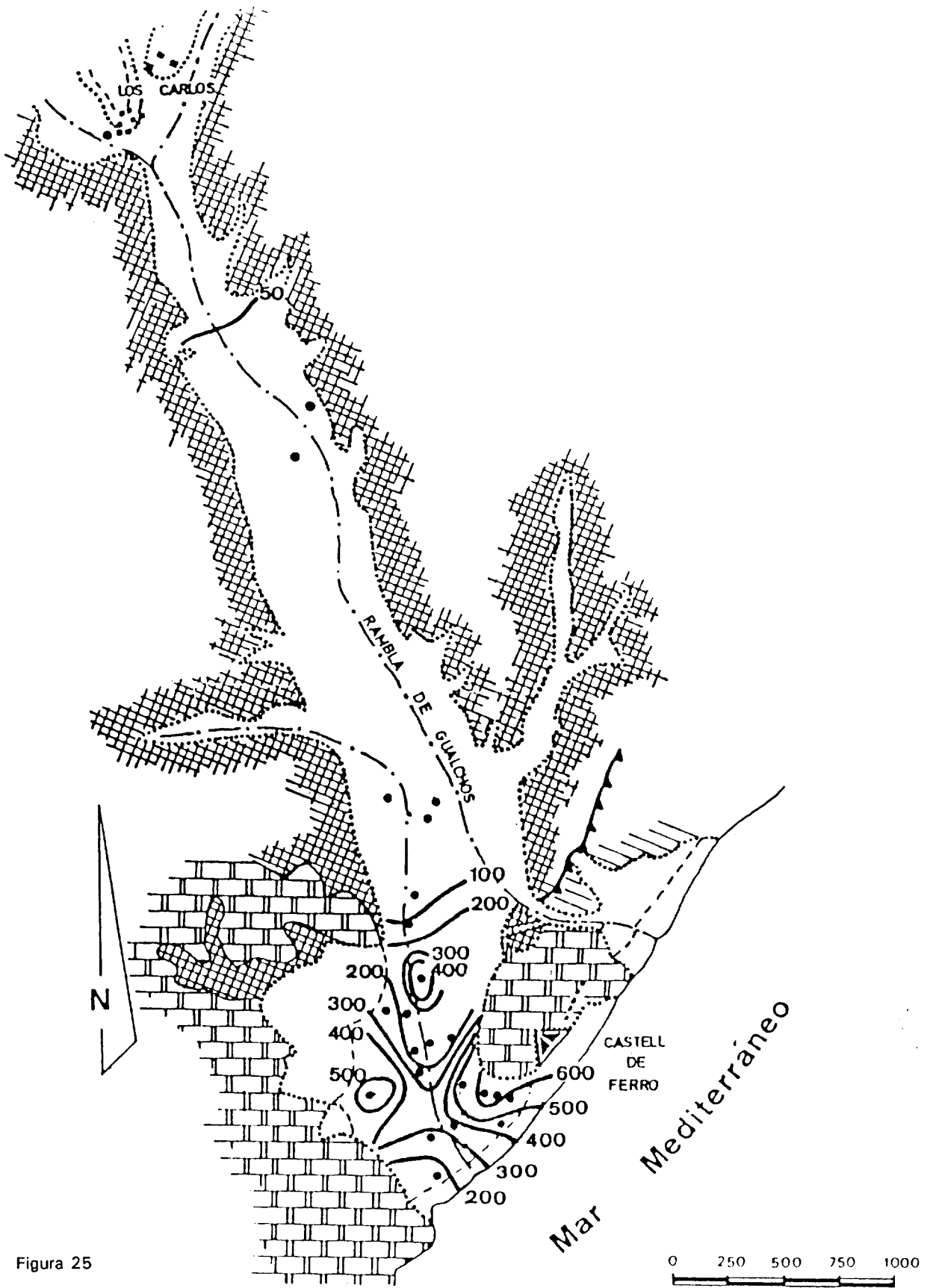
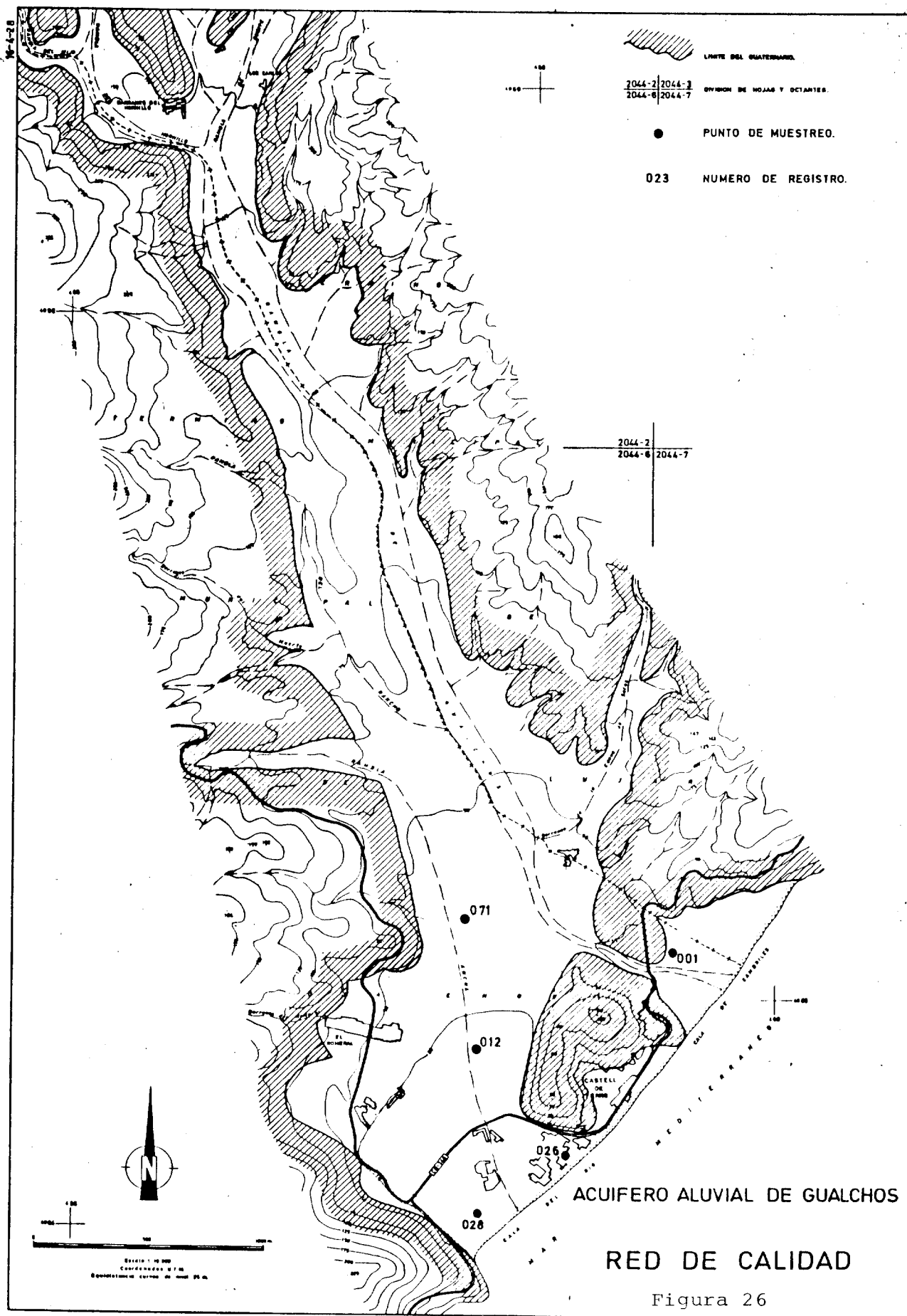


Figura 25

Fuente: E. TERRON, 1983

ACUIFERO COSTERO DE GUALCHOS

ISOCOLORUROS (agosto 1982)



ACUIFERO ALUVIAL DE GUALCHOS

RED DE CALIDAD

Figura 26

En cuanto a la calidad de las aguas para riego, en los muestreos realizados hasta 1984, sólo el 2044-6-006 presentaba un muy elevado peligro de salinización y medio de alcalinización de suelo; los restantes puntos cercanos a la costa presentaban peligro medio a elevado de salinización y bajo peligro de alcalinización. Por último, en el punto situado más al norte, el peligro de salinización era moderado y bajo el de alcalinización del suelo.

A partir de los muestreos realizados en 1989, sólo el punto 2044-7-001 presentaba una calidad aceptable para regadío; los puntos situados más cerca de la costa en el sector de la rambla Ancha presentaban muy elevado peligro de salinización y elevado peligro de alcalinización; y los dos puntos situados más al norte presentaban elevado peligro de salinización del suelo.

5.8.- INTRUSION MARINA

Los primeros datos que apuntaban a la posibilidad de que se estuviese produciendo intrusión marina en el acuífero de Castell de Ferro provienen de la tesis doctoral de BENAVENTE (1982). Este autor comenta la posibilidad de que se estuviese produciendo un fenómeno de inversión de gradiente hidráulico, inducido por la cuantía de las extracciones, con aparición de cotas del nivel piezométrico por debajo del nivel del mar, pero no lo puede precisar por carecer de una nivelación precisa de los puntos considerados.

Por otra parte, constata entre los años 1980 y 1981 un incremento generalizado en la concentración de los principales iones disueltos y, fundamentalmente en el sector cercano al borde costero, en la de los iones Cl^- y Na^+ en particular. Además, señala que la distribución espacial en el contenido de Cl^- denota la existencia de un proceso de intrusión marina. Según este autor, la invasión progresaría de manera más acentuada a favor de los extremos del acuífero detrítico (ocupados por afloramientos carbonatados) que por el centro del mismo. Ello, añade, podría deberse a unos parámetros hidráulicos más favorables al flujo de agua en el acuífero carbonatado que en el detrítico, debido fundamentalmente a su grado de karstificación. Este aspecto aparece, de una manera más neta, relacionado con el afloramiento carbonatado occidental.

E. TERRON en 1983, detecta, basándose en las características hidroquímicas del acuífero, un avance de la interfase agua dulce-agua marina en el sector costero del mismo, favorecido por las discontinuidades de las calizas.

En el sector central, señala que los puntos cercanos a los bordes carbonatados, presentan facies cloruradas cálcico-sódicas, en su opinión, causadas por la inversión de gradiente hidráulico que favorece la penetración de aguas salobres correspondiente a la interfase agua dulce-agua del mar, a favor del acuífero carbonatado.

BENAVENTE en 1987, señala un desequilibrio entre entradas y salidas en el acuífero, lo que se traduce en la formación de conoides de descenso, con cotas negativas más o menos generalizadas, en el sector de rambla Ancha, donde se concentra la mayor explotación y durante los periodos en que la relación recarga/bombeos es menor. Indica que la reducción del flujo subterráneo hacia el mar ha supuesto un avance tierra adentro de la interfase, que en 1988 se encuentra a unos 15 m. de profundidad hasta 1 Km. del borde costero. Estima que aproximadamente 2 hm^3 de acuífero han sido invadidos por agua de mar en el periodo 1977/87. Por último, concluye que la penetración de la interfase ha supuesto un deterioro progresivo en la calidad de las aguas subterráneas captadas en el sector de rambla Ancha, patente sobre todo donde mayor es la penetración o el caudal de bombeo, aunque con riesgo de formación de domos de ascenso salino incluso en relación con obras muy poco penetrantes.

A partir de 1986, el ITGE, dentro de la cuarta fase del "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes" programó el análisis de la evolución de las concentraciones de cloruros y la conductividad en aquellos acuíferos que ya en años anteriores presentaron problemas de intrusión.

Para el acuífero de Castell de Ferro, se estableció una red de control constituida por 5 puntos, cuya situación se muestra en la Figura 27.

En la Figura 28, aparece la evolución de cloruros y conductividades durante los años 1986 y 1987 para tres puntos situados a diferentes distancias de la línea de costa.

En el punto 2044-6-026, el más próximo a la costa, podemos observar un aumento progresivo en las concentraciones de cloruros que pasan desde unos 500 mg/l en Mayo de 1986 hasta valores superiores a los 800 mg/l en Noviembre de 1987. Vemos cómo de manera estacional se producen notables incrementos, llegando a alcanzar valores de 1804 mg/l. La conductividad presenta una evolución prácticamente simétrica.

El punto 2044-6-002, el más alejado de la costa, presenta concentraciones de cloruros que oscilan entre los 60 y 80 mg/l, manteniéndose bastante estabilizados en los dos años representados. Durante los meses de Agosto y Septiembre, se observan ligeros incrementos que son más apreciables en los registros de conductividad.

El punto 2044-6-017 presenta características intermedias.

Los estudios más recientes relacionados con los procesos de intrusión marina en el acuífero de Castell de Ferro, corresponden a M.L. CALVACHE (1991). Con motivo de su tesis doctoral, realizó una simulación matemática para el periodo comprendido entre Octubre de 1985 y Septiembre de 1988. Las principales conclusiones que obtuvo se resumen a continuación:

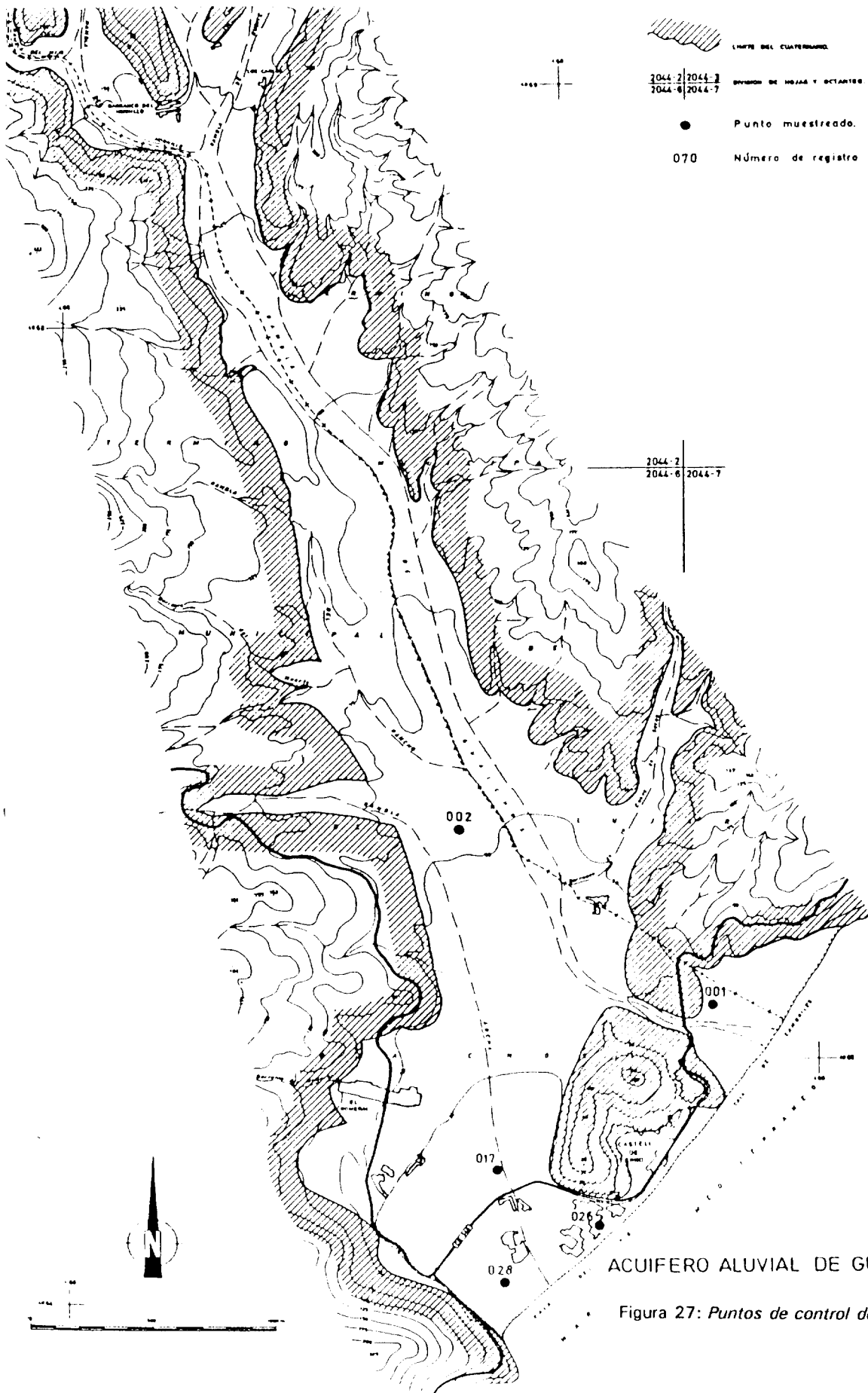
-La dinámica de intrusión marina puede resumirse como sigue. El inicio de la intrusión se produce a través de los materiales detríticos, mientras que por los carbonatos sigue saliendo agua dulce. En un estadio más avanzado, la contaminación volumétricamente más importante se da a través del cerro carbonatado de Castell de Ferro y mucho menos por el detrítico. El inicio del lavado del acuífero empieza por el detrítico, mientras que por los carbonatos sigue entrando agua salada al sistema. En un momento más avanzado el lavado es más importante a través de las calizas. Así, el flujo hacia o desde el mar es siempre más importante a través del conjunto carbonatado. El material detrítico próximo a la costa no está sometido a un flujo suficiente como para que se produzca un lavado total del agua salina en el sedimento.

-El efecto de una hipotética barrera impermeable alrededor del cerro carbonatado de Castell de Ferro reduciría la entrada de agua salina al sistema desde 0,19 hm³ a 0,09 hm³ anuales. No obstante, el resultado más importante sería que las salidas pasarían a producirse fundamentalmente a través del detrítico (de un total de 0,26 hm³, tan sólo 0,03 se darían a través de los carbonatos), lo cual contribuiría muy satisfactoriamente al lavado del acuífero aluvial.

- A pesar de que el volumen de intrusión marina no es muy importante, la calidad del agua en el acuífero detrítico es bastante pobre, hasta el punto de que en el sector central del área simulada nunca se llega a recuperar la calidad propia del agua dulce. Responsable de esto es la existencia de los conjuntos carbonatados intensamente karstificados en contacto tanto con el acuífero detrítico como con el mar, y a través de los cuales se produce la mayor circulación del flujo subterráneo.

-La simulación de un cese de los bombeos en el acuífero de Gualchos indica que se experimentaría un ascenso de hasta 2 m. en los niveles piezométricos y se evitaría el proceso de intrusión marina. Sin embargo, el lavado del acuífero detrítico sería muy lento, ya que el aumento de flujo se daría fundamentalmente a través de los carbonatos.

-La interfase agua dulce-agua salada es un plano muy horizontalizado en el sector



ACUIFERO ALUVIAL DE GUALCHOS

Figura 27: Puntos de control de intrusión.

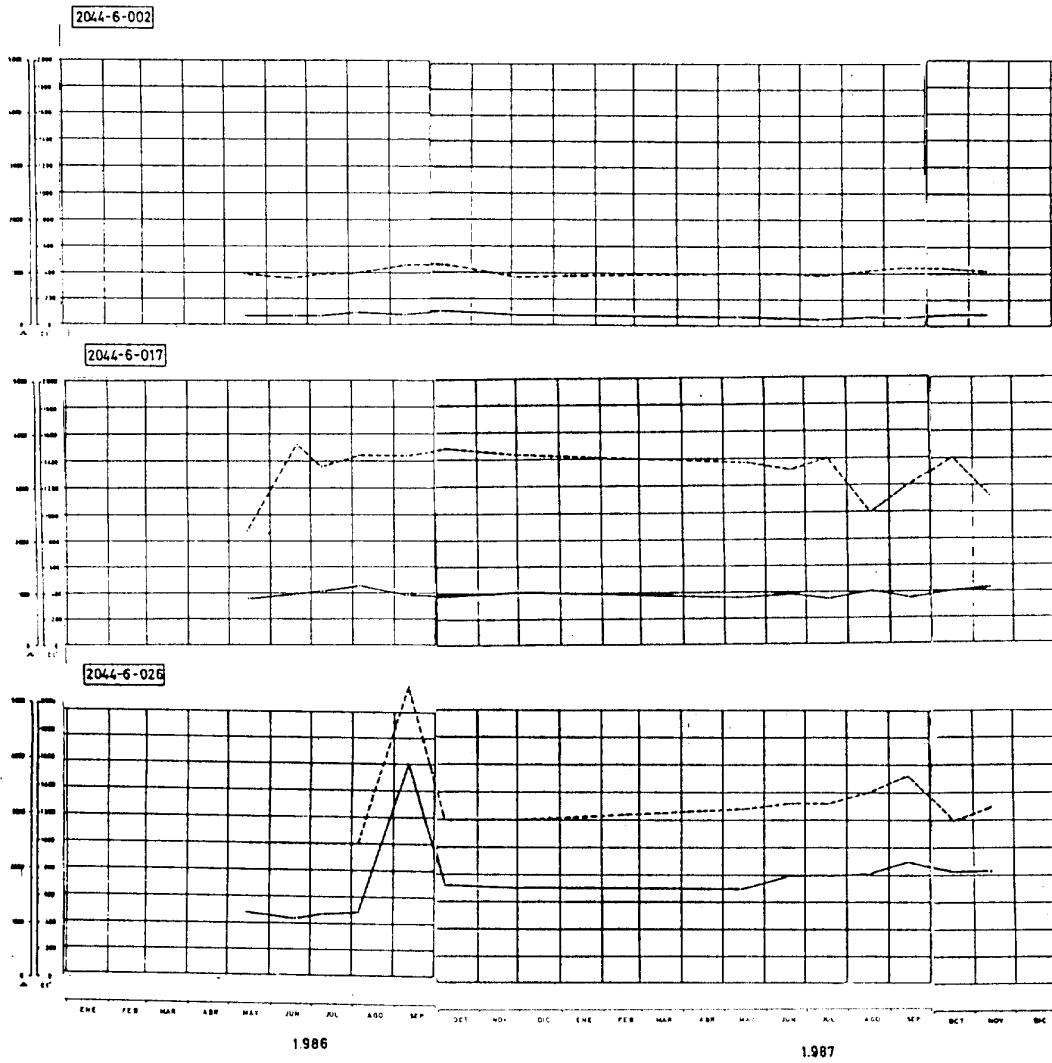


Figura 28

ACUIFERO ALUVIAL DE GUALCHOS
EVOLUCION DE CLORUROS Y CONDUCTIVIDADES

próximo al límite con el mar, encontrándose tan sólo a 4 m. de profundidad a 1 km. de la línea de costas. Responsable de esto es, una vez más, la alta transmisividad de los referidos carbonatos.

-Se detecta la existencia de conoides en la interfase bajo los puntos de máximas extracciones, patentes a lo largo de todo el año, aunque menos visibles en la época de mayor intrusión, como consecuencia de la muy generalizada contaminación por agua salada.

-En lo que respecta a la evolución intraanual, no existe una tendencia similar en los tres años simulados. En 1985-86 se produce un avance de la interfase de 1300 m. entre Diciembre y Septiembre. En 1986-87 aparece intrusión marina en dos momentos: Abril y Septiembre (más acusada en este último mes). Entre Diciembre y Marzo se da un avance de 500 m. y entre Diciembre y Septiembre de 800 m. En Junio se detecta un retroceso. En 1987-88, la intrusión más patente aparece en Abril. Entre Diciembre y Marzo la interfase avanza 1050 m. y comparando Diciembre y Septiembre, algo menos: 850 m.

-En general, el avance de la interfase se produce fundamentalmente en el sector situado a menos de 1500 m. de la línea de costa, por ser el área donde se concentran las principales extracciones de agua subterránea.

-La evolución plurianual de la interfase también varía en función del periodo considerado. Comparando 1986 y 1988 durante el estiaje (Septiembre) se advierte un retroceso de 200 m., sin embargo en la época húmeda, tomando el mes de Marzo como referencia, se produce un avance de 1100 m. Las razones de esta tendencia estriban en el cambio de época de máximas extracciones. Mientras que en 1985-86 se concentran en Septiembre, al año siguiente, 1986-87, aunque lo siguen haciendo fundamentalmente en Septiembre, también se producen en Abril, y en 1987-88, los máximos bombeos tienen lugar definitivamente en Abril.

5.9.- DISCUSION SOBRE LAS POSIBILIDADES DE ACTUACION

-Posibilidades de actuación sobre los acuíferos carbonatados existentes en la cuenca de la rambla de Gualchos.

Ya fueron descritas por BENAVENTE (1987) y BENAVENTE et al. (1988).

El principal acuífero carbonatado existente en la cuenca, son los materiales calizo-dolomíticos de la Sierra de Lújar, del Trías medio-superior, situados en la cabecera de cuenca (Figura 2). El drenaje de este acuífero se produce por diferentes surgencias a lo largo del borde septentrional de la sierra, en la cuenca del río Guadalfeo. ALDAYA (1981) propuso un modelo geométrico para el borde meridional de este acuífero, que podría hacer planteable con garantías la explotación de este acuífero dentro de la cuenca (Figura 29 A1). En 1985, ESTEVEZ et al., propusieron una hipótesis que plantea serios inconvenientes a esta posibilidad. Este modelo, implica una inversión generalizada del flanco sur de la sierra (Figura 29 A2). Esta última hipótesis parece verse confirmada por un sondeo efectuado al NW de Rubite.

Dentro de la cuenca, existe otra serie de afloramientos carbonatados, que, si bien presentan una gran karstificación, apenas tienen continuidad y se encuentran topográficamente "colgados" sobre las metapelitas basales (Figura 29 B). Su drenaje se lleva a cabo por pequeños manantiales basales o bien directamente hacia el mar.

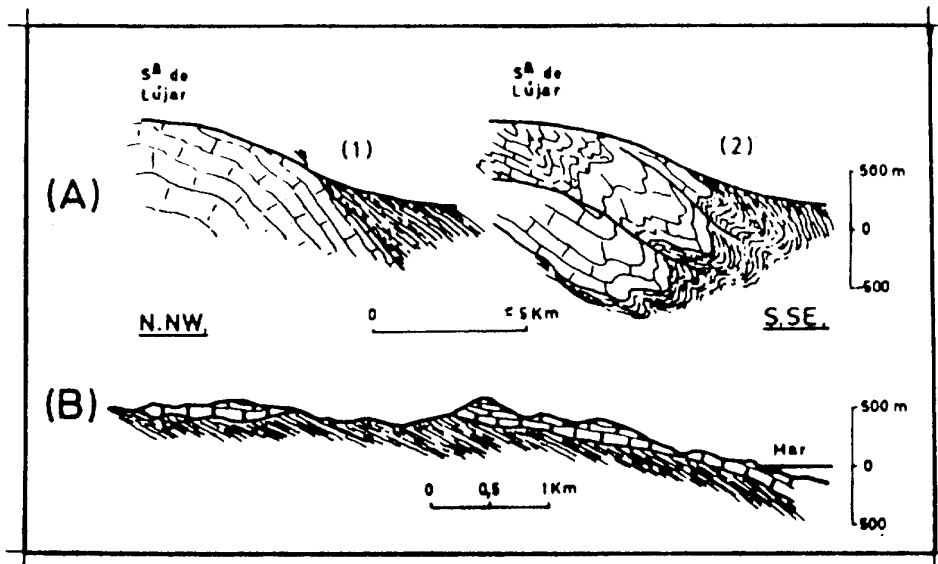


Figura 29: Geometría de los acuíferos carbonáticos en la cuenca de la rambla de Gualchos. A: Borde Sur de la Sierra de Lújar (1: según Aldaya, 1981; según Estevez et al., 1985). B: Afloramientos dispersos de Gualchos-Castell (Aldaya, 1981). Extraído de BENAVENTE, 1987.

-Reducción de los bombeos.

Si no se reducen las extracciones en el sector de la rambla Ancha, el proceso de intrusión marina ya iniciado, podría alcanzar a la totalidad de la zona donde se ubican las principales captaciones. Puesto que la principal vía de entrada de aguas salinas al acuífero, así como las salidas del mismo al mar, se producen a través de los materiales carbonatados de los bordes, el lavado de las sales remanentes en los materiales aluviales se produciría de manera muy lenta.

-Barreras impermeables.

Como indica M.L. CALVACHE en su tesis doctoral (1991), caso de ser posible la realización de una barrera impermeable en el cerro de Castell de Ferro, se reduciría la entrada de agua salina al acuífero, en cambio, las salidas de agua dulce se producirían a través del detrítico, contribuyendo al lavado del mismo de manera eficaz.

-Trasvase de cuencas adyacentes excedentarias.

Si se quieren mantener los cultivos existentes en la zona, al ritmo actual, posiblemente ésta sea la única manera de asegurarlos. Sólo la cuenca del Guadalfeo puede considerarse excedentaria de las existentes en la zona.

Con los datos expuestos en los apartados anteriores, bastaría el trasvase de 1 hm³/año para poder mantener la explotación del acuífero de una manera equilibrada y asegurar las dotaciones actuales.

6.-RESUMEN

A grandes rasgos, las principales aportaciones que pueden extraerse de este documento son las siguientes:

-En el capítulo de Climatología, se han resumido y contrastado los datos aportados por los diferentes autores y organismos que han trabajado en el área, exponiéndose los principales resultados obtenidos por ellos.

-Se resumen las principales características hidrológicas de la cuenca, incluyendo las aportaciones de la misma, calculadas en el Plan Hidrológico Nacional, cuya media se cifra en 4,7 hm³/año, con un coeficiente de escurrimiento del 11%.

-En el capítulo de hidrogeología se resumen los datos y conclusiones existentes hasta hoy, y se han actualizado con los últimos datos disponibles.

-Incluimos los datos procedentes del control de explotación de las aguas subterráneas entre los años 1984 y 1991, que comprenden un volumen de entre 1,58 y 1,96 hm³/año.

-Exponemos los datos existentes relacionados con los parámetros hidráulicos del acuífero, que pueden resumirse en unas transmisividades de 30000 m²/día para los conjuntos carbonatados de los bordes, y comprendidas entre 300 y 10000 m²/día en el aluvial. El coeficiente de almacenamiento se puede considerar del 0,1% en los bordes y del 10% en el sector central del acuífero.

-Se describen las principales características piezométricas del acuífero entre los años 1982 y 1988, mediante la elaboración de planos isopiezométricos y a partir de los registros de los limnógrafos instalados por el ITGE.

-El balance hidráulico más actualizado estima unos recursos entre 2,5-3 hm³/año, unas salidas por extracciones comprendidas entre 1,8-1,9 hm³/año, y pérdidas al mar entre 0,5 y 1 hm³/año como media.

-Se resumen todos los datos de quimismo y calidad de aguas existentes hasta 1991, comprobándose una pérdida de calidad de las mismas causada por los procesos de intrusión marina en el acuífero, y por los incrementos en nitratos procedentes de los cultivos existentes en el mismo.

-Se constata que el acuífero está sometido a un proceso de contaminación por intrusión marina causado por sobreexplotación.

-Se describen los procesos y las causas de dicha intrusión.

-Por último, se comentan las posibles soluciones para evitar la inutilización del acuífero y/o para asegurar las dotaciones de aguas existentes y futuras en la zona.

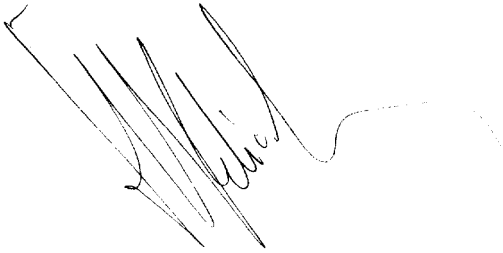
7.-BIBLIOGRAFIA

- ALDAYA,F. (1981): *Albuñol (1056). Mapa Geológico de España (2ª Ser.)* IGME. 39 p. Madrid.
- BENAVENTE,J. (1982): *Contribución al conocimiento hidrogeológico de los acuíferos costeros de la provincia de Granada.* Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 435 p. Granada.
- BENAVENTE,J. (1987): *Consecuencias de la sobreexplotación en el acuífero costero de la rambla de Gualchos (Granada).* IV Simp. Nac. Hidrogeología. 685-696. Palma de Mallorca.
- BENAVENTE,J.; FERNANDEZ-RUBIO,R.; ALMECIJA RUIZ,C. (1988): *Hidrogeología de los acuíferos del sector oriental de la costa de Granada.* Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros. 171-208. Almuñecar (Granada).
- BENAVENTE,J. y TERRON,E. (1983): *Características hidroquímicas del acuífero aluvial litoral de Castell de Ferro (Granada).* Hidrog. Recursos Hidraul. VIII. 229-238. Madrid.
- CALVACHE,M.L. (1991): *Simulación del contacto agua dulce-agua salada en algunos acuíferos de la Costa del Sol.* Tesis Doctoral, Universidad de Granada 317 p. Granada.
- DEL VALLE,M. (1973): *Estudio hidrogeológico de la finca Playa Rijana (Granada).* Informe técnico (inedito). 9 p. Granada.
- ESTEVEZ,A. DELGADO,F.; SANZ DE GALDEANO,C. y MARTIN ALGARRA,A. (1985): *Los Alpujárrides al Sur de Sierra Nevada. Una revisión de su estructura.* rev. Mediterranea, Serv. Geol. Nº 4. 5-32.
- IGME (1985): *Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (1ª y 2ª fase).*
- IGME (1987): *Control de la intrusión marina en los acuíferos costeros de Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1986.* Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 291.
- IGME (1987): *Control de explotaciones de agua subterránea en los acuíferos detríticos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos (año 1985-86).* Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 293.
- IGME (1987): *Control de la calidad de los acuíferos costeros de La Herradura, Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1986.* Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 296.

- IGME (1987): *Medidas y cálculo de las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos durante el último trimestre de 1986*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 308.
- IGME (1987): *Piezometría del acuífero costero de Gualchos en 1985-86*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 310.
- IGME (1987): *Control de la intrusión marina en los acuíferos costeros de Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 312.
- IGME (1988): *Control de la calidad de los acuíferos costeros de la Herradura, Almuñecar y Gualchos (Granada) durante 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 316.
- IGME (1988): *Control de las explotaciones de agua subterránea en los acuíferos detríticos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos (observaciones correspondientes al año hidrológico 1986-87)*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 319.
- IGME (1988): *Medidas y cálculo de las explotaciones de aguas subterráneas en los acuíferos costeros de Motril-Salobreña, Almuñecar y Gualchos durante el último trimestre de 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 325.
- ITGE (1988): *Piezometría del acuífero costero de Gualchos en 1987*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 331.
- ITGE (1989): *Piezometría del acuífero costero de Gualchos en 1988*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 345.
- ITGE (1989): *Control de explotaciones de agua subterránea en el acuífero de Gualchos durante el año hidrológico 1987-88*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 346.
- ITGE (1989): *Control de limnigrafos en el acuífero costero de Gualchos. Resumen de las observaciones correspondientes al periodo 1983-84/1987-88*. Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 347.

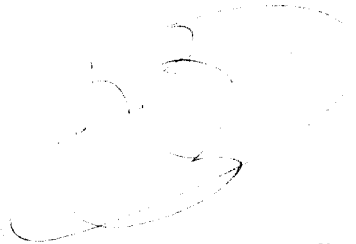
- ITGE (1989): *Cálculo de lluvia útil (segun Thornthwaite) en las estaciones de : Almuñecar, Salobreña, La Mamola, Lentegí y Motril.* Estudio hidrogeológico de la cuenca del Guadalfeo y sectores costeros adyacentes (3ª fase). Nota Técnica nº 353.
- ITGE (1990): *Control de la explotaciones de agua subterranea en el acuífero de Gualchos durante el año hidrológico 1988-89.* Proyecto de actualización infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988,1989 y 1990. Bloque 3. Cuenca del Guadalfeo. Aixarquía Nota técnica nº 357.
- ITGE (1991): *Evolución de la calidad hidroquímica en los acuíferos detríticos costeros de la provincia de Granada (La Herradura, Almuñecar, Castell de Ferro y Motril-Salobreña) durante los años 1987-88 y 1988-89.* Proyecto de actualización infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988,1989 y 1990. Bloque 1.- Redes de Control. Cuenca Sur-Sector Occidental. Nota Técnica nº 366.
- ITGE (1991): *Control de limnigrafos en los acuíferos costeros de la provincia de Granada (Almuñecar, Motril-Salobreña y Castell de Ferro) durante el año 1988-89.* Proyecto de actualización infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988,1989 y 1990. Bloque 3. Cuenca del Guadalfeo. Aixarquía. Nota Técnica nº 369.
- ITGE (1991): *Control de extracciones de agua subterránea en el acuífero de Castell de Ferro durante el año hidrológico 1989-90.* Proyecto de actualización infraestructura, vigilancia y catálogo de acuíferos. Años 1988,1989 y 1990. Bloque 3. Cuenca del Guadalfeo. Aixarquía. Nota Técnica nº 370.
- TERRON,E. (1983): *Estudio hidrogeológico e hidroquímico de la ramblas Ancha y de Gualchos (Granada).* Tesis Licenciatura, Unv. Granada (inedita). 237 p. Granada.

Vº Bº



Fdo: Juan Carlos Rubio Campos.
Oficina Regional de Proyectos
del ITGE Granada.

Autores del informe.



Fdo: Antonio González Ramón.



Fdo: Juan Antonio López Geta
Jefe del Area de Desarrollo
Tecnológico de la Dirección
de Aguas Subterráneas. Madrid.



Fdo: Luis Linares Girela.
Responsable por la empresa
colaboradora.